

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**ANALÝZA SOUČASNÝCH STATISTICKÝCH VÝKAZŮ A  
SW MOŽNOSTÍ PRO HODNOCENÍ ENERGETICKÝCH  
SOUSTAV**

ANALYSIS OF CURRENT STATISTICAL REPORTS AND SW TOOLS FOR EVALUATION OF ENERGY  
SYSTEMS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Pavel Pololáník**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Lukáš Radil, Ph.D.**

**BRNO 2021**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Bc. Pavel Pololáník

**ID:** 186166

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2020/21

## NÁZEV TÉMATU:

### **Analýza současných statistických výkazů a SW možností pro hodnocení energetických soustav**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou statistického výkaznictví na ERÚ a s obsahem výročních zpráv o provozu ES ČR.
2. Analyzujte vzorek statistických výkazů jednotlivých subjektů a popište jeho obsah a strukturu.
3. Zpracujte automatizovaný výpočetní kód zpracovávající statistické výkazy a navrhnete možné rozšiřující pravděpodobnostní a statistické studie.
4. Výpočetní kód vyhodnoťte v souvislosti s implementací do komplexního statistického vykazování provozu soustav.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího diplomové práce

**Termín zadání:** 8.2.2021

**Termín odevzdání:** 24.5.2021

**Vedoucí práce:** Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou statistického výkaznictví Energetického regulačního úřadu. V úvodu je popsán obsah pravidelně vydávaných Zpráv o provozu elektrizační soustavy České republiky.

V práci je provedena analýza statistických výkazů. Zpracování výpočetního kódu v jazyku Python a popsána jeho implementace do analytické platformy KNIME.

## **Klíčová slova**

ERÚ, Statistické výkaznictví, Čtvrtletní zprávy ERÚ, Roční zprávy ERÚ, Open-source software.

## **Abstract**

Diploma thesis deals with the issue of statistical reporting Energy regulatory office ČR. The introduction describes the contents regularly published reports on the operation of the electricity system in the Czech Republic.

In the thesis deals with the analysis of statistical reports. Processing code in Python and describes its implementation in analytical platform KNIME

## **Keywords**

ERÚ, Statistical reports, Quarterly reports ERÚ, Annual reports ERÚ, Open-source software

## **Bibliografická citace**

POLOLÁNÍK, Pavel. Analýza současných statistických výkazů a SW možností pro hodnocení energetických soustav. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134912>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Lukáš Radil.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	Pavel Pololáník
<b>VUT ID studenta:</b>	186166
<b>Typ práce:</b>	Diplomová práce
<b>Akademický rok:</b>	2020/21
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Analýza současných statistických výkazů a SW možností pro hodnocení energetických soustav

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 24. května 2021

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Lukáši Radilovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: 24. května 2021

-----  
podpis autora

# Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	9
SEZNAM TABULEK.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	11
ÚVOD .....	14
<b>1. STATISTICKÉ VÝKAZNICTVÍ ENERGETICKÉHO REGULAČNÍHO ÚŘADU.....</b>	<b>15</b>
1.1 ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD .....	15
1.2 VYKAZOVÁNÍ STATISTIKY ERÚ .....	15
1.3 VÝROČNÍ ZPRÁVY O PROVOZU ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČR.....	15
1.3.1 Čtvrtletní zprávy o provozu ES ČR .....	15
1.3.2 Roční zprávy o provozu elektrizační soustavy.....	18
1.4 STATISTIKA ELEKTROENERGETIKY V EVROPSKÉ UNII .....	21
1.4.1 Eurostat.....	21
1.4.2 Databáze statistiky elektroenergetiky.....	21
<b>2. CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>23</b>
<b>3. STATISTICKÉ VÝKAZY SUBJEKTŮ V ELEKTROENERGETICE.....</b>	<b>24</b>
3.1 VÝKLADOVÉ STANOVISKO ENERGETICKÉHO REGULAČNÍHO ÚŘADU .....	24
3.1.1 Všeobecná pravidla pro vykazování.....	24
3.2 ERÚ-E1 MĚSÍČNÍ VÝKAZ DRŽITELE LICENCE NA VÝROBU ELEKTŘINY O BILANCI ELEKTŘINY A TEPLA A PALÍVECH .....	25
3.2.1 Formát výkazu.....	25
3.2.2 Obsah výkazu .....	25
3.2.3 Struktura .....	26
3.3 ERÚ-E2 MĚSÍČNÍ VÝKAZ PROVOZOVATELE RDS A LDS S EXPORTEM/IMPORTEM .....	27
3.3.1 Formát výkazu.....	27
3.3.2 Obsah výkazu .....	27
3.3.3 Struktura .....	27
3.4 ERÚ-E3 MĚSÍČNÍ VÝKAZ PROVOZOVATELE PŘENOSOVÉ SOUSTAVY .....	28
3.4.1 Formát výkazu.....	28
3.4.2 Obsah výkazu .....	28
3.4.3 Struktura .....	28
3.5 ERÚ-E4 ROČNÍ VÝKAZ PROVOZOVATELE PŘENOSOVÉ SOUSTAVY A PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY.....	29
3.5.1 Formát výkazu.....	29
3.5.2 Obsah výkazu .....	29
3.5.3 Struktura .....	29
<b>4. STATISTICKÉ METODY .....</b>	<b>30</b>
4.1 POPISNÁ STATISTIKA .....	30
4.1.1 Základní statistické pojmy.....	30
4.1.2 Základní statistické charakteristiky.....	30
4.2 ANALÝZA ZÁVISLOSTÍ.....	31
4.2.1 Zobrazení dvojrozměrných dat.....	32



4.2.2	<i>Korelační analýza</i> .....	32
4.2.3	<i>Regresní analýza</i> .....	34
<b>5.</b>	<b>NÁVRH ZPRACOVÁNÍ STATISTICKÝCH VÝKAZŮ</b> .....	<b>36</b>
5.1	PROGRAMOVACÍ JAZYK PYTHON .....	36
5.1.1	<i>Významné knihovny</i> .....	36
5.2	ZPRACOVÁNÍ VÝPOČETNÍHO KÓDU .....	37
5.2.1	<i>Data</i> .....	37
5.2.2	<i>Zdrojový kód</i> .....	37
5.3	ANALYTICKÁ PLATFORMA KNIME .....	41
5.3.1	<i>Základní uživatelské prostředí</i> .....	41
5.3.2	<i>Popis nástrojů (Nodes)</i> .....	42
5.3.3	<i>Proměnné parametry (Flow Variables)</i> .....	44
5.3.4	<i>Komponenty</i> .....	46
5.3.5	<i>Instalace rozšíření Python</i> .....	46
5.3.6	<i>Implementace zdrojového kódu Python</i> .....	47
5.3.7	<i>Lineární a polynomická regrese</i> .....	48
<b>6.</b>	<b>MODEL ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY</b> .....	<b>53</b>
6.1	MOŽNOSTI VYUŽITÍ .....	53
6.2	PRINCIP .....	54
6.3	DATA .....	54
6.3.1	<i>Elektrizační soustava</i> .....	54
6.3.2	<i>Uvažované elektrárny</i> .....	54
6.3.3	<i>Stanovení závěrečné ceny</i> .....	54
6.4	VÝPOČETNÍ KÓD .....	56
6.4.1	<i>Závěrečné ceny a skladba zdrojů</i> .....	56
6.5	PŘÍKLAD VÝSLEDKŮ .....	56
6.5.1	<i>Zhodnocení</i> .....	58
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>59</b>
	<b>LITERATURA</b> .....	<b>61</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>64</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Výkaz ERÚ-EL, příklad rozbalovacího seznamu a názvu výroby.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 2 Metoda nejmenších čtverců a) reziduální hodnoty, b) součet obsahu čtverců je minimální, upraveno z [18] .....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 3 Model proložen přímkou .....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 4 Model proložen polynomem .....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 5 Uživatelské prostředí KNIME.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 6 Nástroj reprezentovaný boxem na pracovní ploše, popis [27] .....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 7 Příklad propojení lokálního parametru s nástrojem .....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 8 Nastavení proměnného parametru, filtr řádků .....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 9 Dílčí projekt komponenty .....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 10 Konfigurace nástroje Python Source.....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 11 Projekt lineární a polynomicke regrese v KNIME .....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 12 Základní zobrazení lineární přímky.....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 13 Koeficienty a statistika lineárního modelu .....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 14 Základní zobrazení křivky.....</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 15 Koeficienty a statistika polynomickeho modelu.....</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 16 Ilustrativní nákladová křivka [30].....</i>	<i>53</i>
<i>Obrázek 17 Podíl typů zdrojů 1. až 5. ledna 2020 dle modelu .....</i>	<i>57</i>
<i>Obrázek 18 Vývoj závěrečných cen 1. až 5. ledna 2020 dle modelu .....</i>	<i>57</i>
<i>Obrázek 19 Historická brutto výroba elektřiny za sledované období.....</i>	<i>71</i>
<i>Obrázek 20 Brutto výroba elektřiny za poslední uplynulé roky .....</i>	<i>71</i>
<i>Obrázek 21 Vývoj ukazatele UPE .....</i>	<i>72</i>
<i>Obrázek 22 Meziroční změna brutto výroby elektřiny za uplynulé dva roky .....</i>	<i>72</i>
<i>Obrázek 23 Predikce brutto výroby elektřiny, porovnání s referenčními hodnotami roku 2014 .....</i>	<i>73</i>

## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1. Hodnocení predikovaných hodnot, Python .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 2 Statistické charakteristiky predikovaných hodnot lineární regrese .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 3 Statistické charakteristiky predikovaných hodnot polynomicke regrese .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 4 Porovnání predikovaných hodnot roku 2014 KNIME a Python .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 5 Instalovaný výkon a průměrná závěrečné cena jednotlivých typů elektráren .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 6 Údaje jednotlivých uvažovaných elektráren .....</i>	<i>74</i>

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

ČR	Česká republika
df	DataFrame
DS	Distribuční soustava
EES	European Statistical System
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	Elektrizační soustava
EU	Evropská unie
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HDP	Hrubý domácí produkt
IČO	Identifikační číslo osoby
JE	Jaderná elektrárna
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
LDS	Lokální distribuční soustava
MOO	Maloodběr obyvatelstvo
MOP	Maloodběr podnikatelé
NaN	Není číslo z angl. Not a Number
OM	Odběrné místo
OSI	Open Systems Interconnection
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PE	Parní elektrárna
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
PPE	Paroplynová elektrárna
PPPS	Pravidla provozování přenosové soustavy
PS	Přenosová soustava
PSE	Plynová a spalovací elektrárna
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
PyPSA	Python for Power System Analysis
RDS	Regionální distribuční soustava
TVS <sub>e</sub>	Technologické vlastní spotřeba elektřiny na výrobu elektřiny
TVS <sub>t</sub>	Technologické vlastní spotřeba elektřiny na výrobu tepla
UPE	Úspora primární energie
VE	Vodní elektrárna
VN	Vysoké napětí
VO	Velkoodběr
VTE	Větrná elektrárna
VVN	Velmi vysoké napětí

Symbols:

$\epsilon$	(-)	Euro
$a$	(-)	Parametr přímky
$b$	(-)	Parametr přímky
$CDS$	(€/MW)	Clean dark spread
$D$	(-)	Maximální možný počet všech konkordancí a diskordancí
$D_i$	(-)	Rozdíl pořadí mezi $x_i$ a $y_i$
$DS$	(€/MW)	Dark spread
$e$	(-)	Reziduální hodnota
$E^T$	(MWh)	Množství elektřiny vyrobené z KVET připadající na zemní plyn
$f$	(-)	Předpis pro regresní vztah
$k$	(-)	Reálné číslo
$n$	(-)	Obecný počet prvků
$N_e$	(€/MW)	Cena elektřiny
$N_{ep}$	(€/t CO <sub>2</sub> )	Cena emisní povolenky
$N_{nab}$	(€/MW)	Nabízená cena elektrárny
$N_{pl}$	(€/MW)	Cena plynu
$N_u$	(€/MW)	Cena uhlí
$P$	(-)	Počet všech konkordancí
$Q$	(-)	Počet všech diskordancí
$Q_{už}^T$	(MWh)	Měsíční nebo roční výroba užitečného tepla dodaného z kombinované výroby
$Q_{pal}^T$	(MWh)	Energetický potenciál paliva použitého ke společné výrobě užitečného tepla a elektřiny
$R$	(-)	Variační rozpětí
$r$	(-)	Pearsonův koeficient
$R^2$	(-)	Koeficient determinance
$r_s$	(-)	Spearmanův korelační koeficient
$s^2$	(-)	Rozptyl
$s$	(-)	Směrodatná odchylka
$S$	(-)	Kendallovo S
$s_r^2$	(-)	Součet druhých mocnin reziduálních hodnot
$SS$	(€/MW)	Spark spread
$s_{xy}$	(-)	Kovariance
$s_{xy}$	(-)	Směrodatná odchylka x
$s_y$	(-)	Směrodatná odchylka y
$t_k$	(-)	Kendallův koeficient
$w$	(-)	Koeficient
$w_0$	(-)	Konstanta
$x$	(-)	Obecný znak
$\bar{x}$	(-)	Aritmetický průměr
$\bar{x}$	(-)	Geometrický průměr

$\tilde{x}$	(-)	Medián
$\tilde{x}$	(-)	Modus
$x$	(-)	Souřadnice na ose x
$x'$	(-)	Linearizovaná hodnota x
$x_i$	(-)	í-tá hodnota znaku
$x_{max}$	(-)	Maximální hodnota znaku
$x_{min}$	(-)	Minimální hodnota znaku
$y$	(-)	Souřadnice na ose y
$y'$	(-)	Linearizovaná hodnota y
$\hat{y}_i$	(-)	Predikovaná hodnota y
$y_i$	(-)	Naměřená hodnota
$z'$	(-)	Linearizovaná hodnota
$\eta_q^T$	(-)	Energetická účinnost dodávky tepla z kombinované výroby
$\eta_e^T$	(-)	Elektrická účinnost kombinované výroby
$\eta_r^V$	(-)	Referenční hodnota energetické účinnosti oddělené výroby tepla
$\eta_r^E$	(-)	Referenční hodnota účinnosti oddělené výroby elektřiny
$\eta_{el}$	(-)	Účinnost elektrárny
$\Pi$	(-)	Pí (součin)
$\rho$	(-)	Parciální korelační koeficient
$\rho_{xy}$	(-)	Korelační koeficient, x a y
$\rho_{xz}$	(-)	Korelační koeficient, x a z
$\rho_{yz}$	(-)	Korelační koeficient, y a z
$\Sigma$	(-)	Sigma

# ÚVOD

Energetický regulační úřad je povinen zveřejňovat roční a čtvrtletní zprávy o provozu soustav v energetických odvětvích. V současné době je daná problematika statistického výkaznictví zpracovávána administrativně náročným způsobem.

Pro zajištění moderního a pružného kontaktu subjektů s Energetickým regulačním úřadem je realizován projekt: „*Systém pro zpracování, analýzu a vyhodnocení statistických dat ERÚ*“. Cílem projektu je vytvořit komplexní systém, pro zadávání, zpracování a uložení dat. Který by dále umožňoval efektivní analýzy a automatizované opravy [1], [2].

Diplomová práce popisuje současný stav statistického výkaznictví Energetického regulačního úřadu a zaměřuje se na výpočetní možnosti open-source softwarových nástrojů a jejich propojení.

# **1. STATISTICKÉ VÝKAZNICTVÍ ENERGETICKÉHO REGULAČNÍHO ÚŘADU**

## **1.1 Energetický regulační úřad**

Sídlem úřadu je Jihlava s dislokovanými pracovišti v Praze a Ostravě. O řízení úřadu se stará pětičlenná Rada Energetického regulačního úřadu. Energetický regulační úřad (ERÚ) vznikl dne 1. 1. 2001 jako správní úřad pro výkon regulace v energetice. Zřízen byl na základě zákona č. 458/2000 Sb.: Zákon o podmínkách a podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) ze dne 28. 10. 2000 [3].

Energetický zákon upravuje kompetence a působnost ERÚ, ukládá povinnost řídit se při výkonu působnosti pouze zákony a ostatními právními předpisy. Zakazuje přijímání a vyžadování pokynů od jiného orgánu výkonné moci nebo fyzické či právnické osoby. Hlavní pravomoci a působnosti [3]:

- a) Regulace cen (regulované složky cen energií)
- b) Stanovuje podporu pro obnovitelné zdroje energie
- c) Podporuje hospodářskou soutěž v energetice
- d) Vydává licence pro výrobce energií, obchodníky a další subjekty, které pak i dozoruje

Mezi další působnosti ERÚ patří například schvalování a stanovení Pravidel provozování přenosové soustavy (PPPS) a Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS) v elektroenergetice. Pro plynárenství schvaluje Řád provozovatele přepravní soustavy a Řád provozovatele distribuční soustavy. V oblasti statistiky zveřejňuje roční a čtvrtletní zprávy o provozu soustav v energetických odvětvích [3].

## **1.2 Vykazování statistiky ERÚ**

Podle § 17 ods. 7 písm. m) zákona č. 458/2000 Sb. (energetický zákon) je ERÚ povinen zveřejňovat roční a čtvrtletní zprávu o provozu soustav v energetických odvětvích. Pro elektřinu a plyn jsou čtvrtletní a roční zprávy zveřejňovány od roku 2016, pro teplárenství od roku 2017. Způsob zveřejňování je dálkově přístupný na svých webových stránkách ERÚ.

## **1.3 Výroční zprávy o provozu elektrizační soustavy ČR**

### **1.3.1 Čtvrtletní zprávy o provozu ES ČR**

Čtvrtletní zprávy o provozu elektrizační soustavy (ES) ČR nahradily od roku 2016 z důvodu novely energetického zákona do té doby vydávané Měsíční zprávy o provozu ES ČR. Ve čtvrtletních zprávách ERÚ předkládá statistická data o elektroenergetice v ČR



za uplynulé čtvrtletí. Data jsou zpracována na základě poskytnutých údajů jednotlivými držiteli licence na činnosti v energetice. Jednotlivá data jsou uváděna v následujících kapitolách zpráv v přehledových tabulkách a doplňujících grafech. Pro každou tabulku je uveden zdroj dat (číslo výkazu, OTE, a.s.) [4].

### **Bilance, výroba a spotřeba elektřiny**

a) Bilance elektřiny – zdroje jsou uvedena data:

- Výroby elektřiny brutto
- Technologické vlastní spotřeba elektřiny na výrobu elektřiny (TVSe)
- Technologické vlastní spotřeba elektřiny na výrobu tepla (TVSt)
- Výroby elektřiny netto

Každá sledovaná veličina je detailněji ještě rozdělena dle vybraných elektráren: jaderné (JE), parní (PE), paroplynové (PPE), plynové a spalovací (PSE), vodní (VE), přečerpávací (PVE), větrné (VTE) a fotovoltaické (FVE).

b) Bilance elektřiny – spotřeba jsou uvedena data:

- Přeshraniční saldo
- Celkové ztráty
- Spotřeba elektřiny ČR
- Bilanční rozdíl

Data přeshraničního salda a celkových ztrát se sledují na úrovni přenosové soustavy (PS) a distribučních soustav (DS). Spotřeba elektřiny ČR je podrobněji členěna dle druhů spotřebitelů, spotřebu PPS a PDS, TVSe, TVSt, spotřebu na přečerpávání PVE, celkově je uvedena netto a brutto spotřeba.

### **Výroba elektřiny podle technologií a paliv**

V kapitole jsou data pro elektrárny rozdělené dle technologií. Jednotlivé technologie výroby jsou pak dále členěny podle paliv. U zdrojů nevyužívajících palivo (VE, VTE, FVE) je dílčí členění dle instalovaného výkonu.

### **Rozdělení elektráren podle technologií:**

- a) Jaderné
- b) Parní
- c) Paroplynové a plynové a spalovací
- d) Vodní a přečerpávací
- e) Fotovoltaické a větrné
- f) Výroba z biomasy a bioplynu
- g) Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET)

Za čtvrtletí se u JE, PE, PPE, PSE, sledují veličiny výroby brutto a netto, TVSe, TVSt a instalovaný elektrický výkon. Kromě JE jsou výroby rozčleněny podle paliv: biomasa, bioplyn, černé a hnědé uhlí, koks, odpadní teplo, ostatní kapalná a pevná paliva, ostatní plyny, ostatní, topné oleje a zemní plyn.

U vodních, přečerpávacích vodních, fotovoltaických a větrných elektráren se uvádějí veličiny celkový instalovaný výkon, výroba elektřiny brutto a netto, TVSe a dodávka elektřiny do ES. U přečerpávacích elektráren se místo TVSe uvádí spotřeba elektřiny na čerpání. Zdrojem dat pro podporované zdroje elektřiny je OTE, a.s., (u výroben do 10MW) předávaná data jsou od výrobců s licenci na výrobu elektřiny. Nejsou obsaženy informace o zdrojích bez dodávky do ES o výkonu  $\leq 10$  kW (tzv. mikrozdrojích).

Pro výrobu z biomasy a bioplynu se uvádějí veličiny výroby elektřiny brutto a netto, TVSe a TVSt. Výroba z biomasy se podle paliva člení: brikety a pelety, celulóзовé výluhy, kapalná biopaliva, ostatní biomasa, palivové dříví, piliny, dřevní odpad a rostlinné materiály neaglomerované. Výroba z bioplynu se skládá ze skládkového, kalového plynu a ostatního bioplynu.

U kombinované výroby elektřiny a tepla se sledují veličiny výroba elektřiny brutto (včetně struktury paliv), celkový instalovaný elektrický výkon a celkový instalovaný tepelný výkon.

### **Instalovaný výkon v ES ČR a rozdělení do jednotlivých krajů v ČR**

V kapitole je sledován celkový instalovaný výkon jednotlivých typů elektráren dle technologií v ES pro celou ČR pro jednotlivá čtvrtletí i měsíce. Dále je uvedeno rozvržení instalovaného výkonu typů elektráren v jednotlivých krajích ČR (včetně hlavního města Prahy).

### **Výroba a spotřeba elektřiny v krajích ČR a RDS**

Sledovány jsou následující hodnoty elektrické energie:

- a) Výroba elektřiny v krajích ČR podle technologie elektráren.
- b) Spotřeba elektřiny netto v krajích ČR podle kategorie potřeb.

Pro každý kraj jsou předány hodnoty velkoodběru (VO) z velmi vysokého napětí (VVN), VO z vysokého napětí (VN), maloodběru podnikatelé (MOP) a maloodběru obyvatelstvo (MOO).

- c) Spotřeba elektřiny v krajích ČR podle sektorů národního hospodářství.
- d) Spotřeba elektřiny netto v jednotlivých soustavách RDS.

Pro každou RDS podrobněji členěno na VO z VVN, VO z VN, MOP a MOO.

- e) Bilance fyzických toků PS a RDS.

Bilance PS je rozdělena na různé druhy vstupů a výstupů z PS. Obdobně celková bilance DS rozdělena na jednotlivé druhy vstupů do DS a výstupů z DS.

## **Výroba a spotřeba elektřiny v jednotlivých krajích ČR**

V kapitole jsou jednotlivě pro každý kraj i hlavní město Praha předloženy data pro každý měsíc čtvrtletí o:

- a) Celkovém instalovaném výkonu.
- b) Výrobě elektřiny brutto.
- c) Spotřebě elektřiny netto.

## **Přeshraniční fyzické toky**

Kapitola obsahuje data o výměně elektrické energie na úrovni PS a DS mezi ČR a sousedními státy. Sledují se veličiny:

- a) Saldo
- b) Export celkem
- c) Export na úrovni PS a DS
- d) Import celkem
- e) Import na úrovni PS a DS

## **Maxima a minima zatížení**

- a) Měsíční maxima a minima zatížení brutto ES ČR.

Pro každý měsíc jsou doplňována data o měsíčním maximu a minimu zatížení. Sleduje se velikost zatížení, datum a hodina. Pro jednotlivé měsíce čtvrtletí jsou dále zpracovány grafy Spotřeby elektřiny brutto a Dosaženého denního max. a min. zatížení.

- b) Denní maxima a minima zatížení brutto ES ČR.

Pro jednotlivé dny daného čtvrtletí jsou sledovány hodnoty:

- Spotřeba elektřiny brutto.
- Dosažené denní maximum zatížení brutto.
- Dosažené denní minimum zatížení brutto

- c) Měsíční maximum/minimum

Uváděna je struktura dodávek a odběrů energie z ES v jednotlivých hodinách dne:

- Výroby jednotlivých typů elektráren
- Přeshraniční saldo
- Čerpání PVE
- TVSe
- Zatížení brutto
- Zatížení (bez TVSe)
- Spotřeba brutto

### **1.3.2 Roční zprávy o provozu elektrizační soustavy**

Roční zprávy o provozu ES ČR přináší informace o základních ukazatelích elektroenergeticky za uplynulý rok včetně jejich vývoje. Vychází z dat čtvrtletních zpráv

a obsahuje některé zpřesněné údaje. Jednotlivá data jsou uváděna v následujících kapitolách zpráv v přehledových tabulkách a doplňujících grafech [4].

### **Bilance, výroba a spotřeba elektřiny**

Obsahuje provozně technická data o celkové bilanci, výrobě a spotřebě elektřiny na úrovni ES ČR za sledovaný rok, která jsou dána do kontextu s daty z předcházejících let. Ucelená sledovaná data podávají přehledné informace o vývoji ES za uplynulých 10 let. Podrobněji se sleduje následující:

- a) Bilance elektřiny – spotřeba
- b) Bilance elektřiny – zdroje
- c) Vývoj bilance a výroby elektřiny
- d) Meziroční změna výroby elektřiny
- e) Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto
- f) Vývoj výroby a spotřeby elektřiny
- g) Meziroční změna spotřeby elektřiny
- h) Dlouhodobý vývoj výroby a spotřeby elektřiny
- i) Vývoj spotřeby elektřiny podle kategorií spotřeb

### **Výroba a spotřeba elektřiny v krajích ČR a RDS**

Obsahuje provozně technická data o celkové výrobě a spotřebě elektřiny, která jsou pro srovnání rozdělena podle jednotlivých krajů ČR. Sledované údaje spotřeby jsou dále dělené i podle regionálních distribučních soustav. Celkově se vyhodnocuje:

- a) Výroba elektřiny brutto v krajích ČR podle technologie elektráren
- b) Spotřeba elektřiny netto v krajích ČR podle kategorie spotřeb
- c) Spotřeba elektřiny netto v krajích ČR podle sektorů národního hospodářství
- d) Meziroční změna spotřeby elektřiny netto podle sektorů národního hospodářství
- e) Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto v krajích ČR
- f) Spotřeba elektřiny netto v jednotlivých regionálních distribučních soustavách (RDS)
- g) Meziroční změna elektřiny netto v RDS

### **Výroba elektřiny podle technologií a paliv**

Obsahuje podrobná provozně technická data jednotlivých typů elektráren. Dále za uplynulých 10 let shrnuje výrobu z obnovitelných zdrojů energie (OZE) a její celkový podíl na brutto výrobě. Sledované technologie elektráren:

- a) Jaderné a parní elektrárny
- b) Paroplynové elektrárny
- c) Plynové a spalovací elektrárny
- d) Vodní a přečerpávací vodní elektrárny
- e) Větrné elektrárny

- f) Fotovoltaické elektrárny
- g) Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
- h) Výroba z biomasy
- i) Výroba z bioplynu
- j) Vývoj výroby elektřiny brutto z obnovitelných zdrojů energie (OZE)

### **Vývoj instalovaného výkonu v ES ČR a rozdělení do jednotlivých krajů v ČR**

Kapitola obsahuje data o instalovaném výkonu jednotlivých typů elektráren za uplynulých 10 let. Pro aktuálně sledovaný rok je navíc provedeno podrobné rozdělení do jednotlivých krajů.

### **Přeshraniční toky**

Obsahuje podrobné údaje o přeshraničním exportu a importu ES ČR a sousedními státy ve sledovaném a předchozím roce. Dále je uveden vývoj za uplynulých 10 let. Vyhodnoceny jsou údaje:

- a) Přeshraniční fyzické toky
- b) Meziroční změna přeshraničních fyzických toků
- c) Vývoj přeshraničních fyzických toků

### **Maxima a minima zatížení**

Obsahuje detailní údaje o struktuře pokrytí spotřeby pro každou hodinu dnů, ve kterých bylo dosaženo nejvyššího a nejnižšího zatížení v ES ve sledovaném roce. Vyhodnocované údaje jsou rozděleny pro:

- a) Den maxima zatížení ES ČR
- b) Den minima zatížení ES ČR
- c) Měsíční maxima a minima zatížení ES ČR (brutto bez čerpání PVE)
- d) Průběh spotřeby brutto bez čerpání PVE ve dni ročního maxima a minima

### **Bilance, technické údaje, kvalita dodávek v PS a RDS a tarifní statistika**

Obsahuje informace vztažené k provozu PS a DS k 31. 12. sledovaného roku. Podrobněji se sledují následující ukazatele:

- a) Bilance fyzikálních toků PS a RDS
- b) Délky tras a vedení PS a RDS
- c) Odběrná místa a transformovny v PS a RDS
- d) Vývoj vybraných technických údajů o PS a RDS
- e) Vývoj kvality dodávek elektřiny
- f) Tarifní statistika
- g) Vývoj tarifní statistiky

## **1.4 Statistika elektroenergetiky v Evropské unii**

### **1.4.1 Eurostat**

Je statistickým úřadem Evropské unie (EU), který poskytuje statistiky a data v rámci celé EU. Eurostat vytváří statistiky ve spolupráci s organizacemi jednotlivých členských států EU. Tato spolupráce je známá jako European Statistical System (EES) [5]. Spolupracující organizace z České republiky jsou [6]:

- a) Český statistický úřad
- b) Ministerstvo dopravy
- c) Ministerstvo práce a sociálních věcí
- d) Ministerstvo průmyslu a obchodu
- e) Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy
- f) Ministerstvo vnitra
- g) Ministerstvo zemědělství
- h) Ústav zdravotnických informací a statistiky

### **1.4.2 Databáze statistiky elektroenergetiky**

#### **Statistika elektřiny a tepla**

Databáze poskytuje přehled o výrobě a spotřebě elektřiny a tepla v EU. Při zpracování se vychází z ročních údajů poskytnutých členskými státy. Obecně jsou uváděny údaje pro EU mezi roky 2000 až 2018. Jednotlivé údaje jsou rozděleny jak pro jednotlivé státy, tak i jako souhrn za EU. Podrobněji se monitoruje [7]:

- a) Výroba elektřiny brutto podle typu paliva
- b) Instalovaný výkon
- c) Import a export elektrické energie
- d) Výroba tepla
- e) Spotřeba elektřiny a tepla
- f) Spotřeba elektřiny na obyvatele v oblasti domácností
- g) Spotřeba elektřiny na jednotku Hrubého domácího produktu (HDP)

#### **Statistika výroby elektřiny – předběžné výsledky**

V databázi jsou uvedena prvotní data statistiky za poslední uplynulý rok (2019). Obecně jsou uvedena ucelená data za období 2000 až 2018 doplněná o prvotní údaje elektřiny za rok 2019. Dále jsou k dispozici některá měsíční data roku 2020. Uvedeny jsou údaje [8]:

- a) Výroba elektřiny
- b) Elektřina dodaná na trh

### **Ukazatelé trhu s elektřinou**

Databáze pojednává o trzích s elektřinou. Přeloženy jsou statistické údaje o počtu společností vyrábějících a prodávajících elektřinu ve státech EU a dalších státech [9]:

- a) Trhy s elektřinou – výroba a instalovaný výkon
- b) Trhy s elektřinou – maloobchod

### **Statistika cen elektřiny**

Předkládá vývoj cen elektřiny pro spotřebitele. Pro spotřebitele v různých oblastech jsou uváděna data [10]:

- a) Ceny elektřiny pro spotřebitele v domácnosti
  - Vývoj cen v posledním pololetí uplynulého roku
  - Vývoj cen mezi roky 2008 až 2019
  - Podíl daní a odvodů placených v ceně za elektřinu v posledním pololetí uplynulého roku
  - Změna cen elektřiny ve srovnání se stejným pololetím uplynulého roku
- b) Ceny elektřiny pro spotřebitele mimo domácnost
  - Vývoj cen v posledním pololetí uplynulého roku
  - Vývoj cen mezi roky 2008 až 2019
  - Podíl daní a odvodů placených v ceně za elektřinu v posledním pololetí uplynulého roku
  - Změna cen elektřiny ve srovnání se stejným pololetím minulého roku

### **Výroba a spotřeba elektřiny, přehled trhu**

Poskytnuty jsou informace výrobě elektřiny a trhu s elektřinou se zaměřením na liberalizaci trhu (reprezentováno podílem největších výrobců v roce 2008 a 2018) [11]:

- a) Výroba elektřiny
  - Celková výroba netto
  - Celková změna výroby netto mezi rokem 2008 a 2018
  - Podíl zdrojů na vyrobené elektřině
- b) Spotřeba elektřiny domácností
  - Změna spotřeby mezi rokem 2008 a 2018
- c) Podíly na trhu
  - Podíl na trhu největšího výrobce v roce 2008 a v 2018

## 2. CÍLE PRÁCE

Diplomová práce souvisí s realizovaným projektem: „*Systém pro zpracování, analýzu a vyhodnocení statistických dat ERÚ*“. V rámci realizovaného projektu je vytvářen systém, který zefektivní sběr, zpracování a vyhodnocení dat v oblasti statistického výkaznictví. Pro naplnění cílů je nutné zaměřit se na následující body:

- a) Provést analýzu současného stavu výkaznictví.
- b) Na základě údajů vytvořit načítání těchto dat v rámci open platformy.
- c) Na základě bazální analýzy dat provést následnou vizuální interpretaci dat.
- d) Na základě dosavadních zkušeností z předešlých kroků provést analýzu nákladovosti zdrojů komplementárně s daty z ENTSO-E.



### **3. STATISTICKÉ VÝKAZY SUBJEKTŮ V ELEKTROENERGETICE**

Zprávy o provozu soustav v energetických odvětvích jsou v současné době zpracovávány na základě předkládaných výkazů držitelů licencí na činnosti v energetice. Všechny náležitosti, členění, termíny, rozsahy a pravidla pro sestavování výkazů upravuje vyhláška č. 404/2016 Sb. o náležitostech a členění výkazů nezbytných pro zpracování zpráv o provozu soustav v energetických odvětvích, včetně termínů, rozsahu a pravidel pro sestavování výkazů (statistická vyhláška), novelizovaná vyhláškou č. 154/2018 Sb [12].

#### **3.1 Výkladové stanovisko Energetického regulačního úřadu**

Výkladové stanovisko je aktualizovaný podpůrný dokument, vydávaný Energetickým regulačním úřadem, pro držitele licence na činnost v energetice. Aktuálně je vydané číslo 8/2018 [12], podle kterého byla zpracována i tato kapitola. Výkladové stanovisko doplňuje a upravuje definice některých pojmů nově novelizované statistické vyhlášky. Především obsahuje všeobecná pravidla pro vykazování a popis jednotlivých výkazů.

##### **3.1.1 Všeobecná pravidla pro vykazování**

Upravován je především formát vyplňovaných dat a správné označení výkazu. Obsažena jsou následující pravidla:

- a) Použití aktuální šablony výkazů
- b) Pojmenování výkazů přesně podle uvedeného klíče
- c) Veškeré časové položky se vyplňují v platném čase (zda je ve sledovaném období letní nebo zimní čas)
- d) Hodnoty instalovaných výkonů (MW) se vyplňují maximálně na 5 desetinných míst
- e) Hodnoty energie (MWh), (GWh) či (GJ) se vyplňují maximálně na 3 desetinná místa
- f) Hodnoty výkonu (MW) zatížení elektrizační soustavy se vyplňují jako celá čísla
- g) Hodnoty elektrické a tepelné energie se uvádějí jako fyzické toky, kromě položky dovoz/vývoz
- h) Údaje se do výkazů uvádějí vždy za ucelené období (za všechny kalendářní dny)

## 3.2 ERÚ-E1 Měsíční výkaz držitele licence na výrobu elektřiny o bilanci elektřiny a tepla a palivech

Vyplňují a za každý měsíc zasílají ERÚ držitelé licence na výrobu elektřiny s technologií elektráren JE, PE, PPE, PSE, PVE, vodní elektrárny s instalovaným výkonem větším než 10 MW a ostatní. Výkaz musí být vyplňován individuálně pro každou výrobnu.

### 3.2.1 Formát výkazu

Aktualizovaný výkaz je dostupný na webových stránkách ERÚ v sekci Elektřina – Statistika a sledování kvality – Vykazování [13]. Výkaz je ke stažení ve formátu ZFO. Pro práci s výkazem ve formátu ZFO je nutné využít program Software 602 Form Filler.

### 3.2.2 Obsah výkazu

Výkaz je rozdělen na následujících oddílů, ve kterých se vyplňují požadované informace a data. Před prvním oddílem se vyplňuje informace, pro jaký vykazovaný měsíc a rok je výkaz podáván.

1. Oddíl **Základní informace o subjektu** – Vyplňují se následující základní identifikační údaje: držitel licence, IČO, ID datové schránky / email, odpovědný pracovník, kontaktní telefon.
2. Oddíl **Technologie a instalovaný výkon** – Vyplňují se následující základní údaje: název výroby, kraj, technologie výroby, celkový instalovaný elektrický výkon (MWe), celkový instalovaný výkon (MWt), připojeno k PS/DS.
3. Oddíl **Paliva** – Vyplňují se následující údaje: paliva, pořízení paliva celkem, spotřeba paliva na výrobu elektřiny a tepla, hodnota výhřevnosti.
4. Oddíl **Výroba a dodávka elektřiny a tepla** – Pro elektřinu v (MWh) a teplo v (GJ) se vyplňují následující údaje: Brutto výroba, technologická vlastní spotřeba na výrobu elektřiny a tepla, dodávka do vlastního podniku nebo zařízení, ztráty, bilanční rozdíl, přímé dodávky cizím subjektům.
5. Oddíl **Bilance dodávek a zdrojů** – V bilanci zdrojů vyplňuje: nákup/odběr, brutto výroba, vlastní spotřeba celkem (včetně spotřeby elektřiny na přečerpávání v PVE), spotřeba elektřiny na přečerpávání v PVE, saldo (dovoz/vývoz), ztráty, bilanční rozdíl. V bilanci dodávek se vyplňuje: dodávky obchodním subjektům, energetika, průmysl, stavebnictví, doprava, zemědělství a lesnictví, obchod/služby/školy/zdravotnictví, domácnosti, ostatní.
6. Oddíl **Technologie KVET** – Vyplňují se následující údaje: technologie KVET, instalovaný elektrický výkon, instalovaný tepelný výkon.

7. Oddíl **Bilance KVET** – Vyplňují se následující údaje: palivo použité na KVET, výroba elektřiny brutto, dodávka užitečného tepla, hodnota vsázky paliva.
8. Oddíl **Komentář** – Vyplňují se další doplňující informace k vyplněným údajům. Například se uvádí přesný název lokální distribuční soustavy (LDS), pokud je výrobná připojena do LDS.

### 3.2.3 Struktura

Formulář výkazu je předpřipraven způsobem, kdy jsou vyplňujícímu automaticky doplňovány či nabízeny některé údaje, které má ERÚ k dispozici podle vydané licence. Na *Obrázku 1* je znázorněn příklad rozbalovacího okna a automatického doplnění údajů. V 1. oddílu je vybrán držitel licence Vysoké učení technické v Brně a jeho IČO, následně jsou automaticky v názvu výroby v rozbalovacím seznamu automaticky předpřipraveny všechny výroby daného subjektu. Po výběru výroby jsou do šedě podbarvených údajů nyní pro kraj a technologie výroby, automaticky doplněny neměnné údaje. Dále jsou ve formuláři žlutě podbarvená pole. U těchto polí lze údaj doplnit pouze jednou a dále je automaticky doplněn (propsán) v dalších oddílech ve kterých se údaj vyskytuje.

#### ERÚ-E1: Měsíční výkaz držitele licence na výrobu elektřiny o bilanci elektřiny a tepla a palivech



Vykazovaný měsíc	Vykazovaný rok	Výkladové stanovisko 8/2018 Platnost výkazu od: 1. 1. 2017 Seznam držitelů licencí aktuální k: 30. 11. 2020			
	2020				

**1. Základní informace o subjektu**

Držitel licence	IČO	ID datové schránky / email	Odpovědný pracovník	Kontaktní telefon
Vysoké učení technické v Brně	00216305			

**2. Technologie a instalovaný výkon výroby**

Název výroby	Kraj	Technologie výroby	Celkový instalovaný elektrický výkon [MW <sub>e</sub> ]	Celkový instalovaný tepelný výkon [MW <sub>t</sub> ]	Připojeno k PS/DS
KGJ - Pukýšova 93	Jihomoravský	Plynová a spalovací (PSE)			
KGJ - Pukýšova 93					
KGJ - Technická 12					
Kotelna Kolejní KGJ					

aliv)

Jednotky	Pořízení paliva celkem	Spotřeba paliva na výrobu elektřiny	Spotřeba paliva na výrobu tepla	Výhřevnost	Jednotky
t				Hodnota	GJ/t

*Obrázek 1 Výkaz ERÚ-EI, příklad rozbalovacího seznamu a názvu výroby*

Kromě interaktivního doplňování dat je ve formuláři základní kontrola vyplněných údajů. Při vyplnění neodpovídajícího údaje (např. neodpovídající teoretickým předpokladům) se vyplněné pole podbarví červenou barvou a zobrazí se informace k danému poli (s nápovědou).

### 3.3 ERÚ-E2 Měsíční výkaz provozovatele RDS a LDS s exportem/importem

Vyplňují a za každý měsíc zasílají ERÚ provozovatelé regionální distribuční soustavy a provozovatelé lokální distribuční soustavy, která slouží k importu/exportu elektřiny. Výkaz je vyplňován za celou distribuční soustavu provozovatele.

#### 3.3.1 Formát výkazu

Aktualizovaný výkaz je dostupný na webových stránkách ERÚ v sekci Elektřina – Statistika a sledování kvality – Vykazování [13]. Výkaz je ke stažení ve formátu XLSX.

#### 3.3.2 Obsah výkazu

Výkaz je rozdělen na následující oddíly, ve kterých se vyplňují požadované informace a data. Před prvním oddílem se vyplňuje informace, pro jaký vykazovaný měsíc a rok je výkaz podáván.

1. Oddíl **Základní informace o subjektu** – Vyplňují se základní identifikační údaje: držitel licence, IČO, datum vytvoření výkazu, odpovědný pracovník, kontakt (tel./e-mail)
2. Oddíl **Bilance soustavy** – Za celou DS se vyplňují celkové hodnoty jednotlivých bilančních položek pro: vstup do DS a výstup z DS
3. Oddíl **Krajské vyhodnocení spotřeby elektřiny** – Pro jednotlivé kraje se vyplňují data spotřeby podle:
  - a) Jednotlivých sektorů národního hospodářství: energetika, průmysl, stavebnictví, doprava, obchod/služby/školství/zdravotnictví, domácnosti, zemědělství a lesnictví, ostatní, celkem za kraj.
  - b) Kategorie zákazníků: VO z vvn, VO z vn, MOP, MOO, celkem za kraj
4. Oddíl **Přeshraniční toky** – Vyplňují se data: exportu na úrovni DS a importu na úrovni DS mezi ČR a jednotlivými sousedními státy.
5. Oddíl **Komentář** – Vyplňují se další doplňující informace k vyplněným údajům, které jsou vykázány odlišně od metodiky vykazování [12].

#### 3.3.3 Struktura

Formulář výkazu je předpřipraven způsobem, kdy vyplňující musí doplňované údaje a hodnoty jednotlivě doplnit či importovat. V oddílu 3 je pak automaticky proveden výpočet celkových údajů za kraj a RDS. V oddílu 4 jsou automaticky vypočteny celkové hodnoty pro export, import a saldo. Data, která se automaticky dopočítávají jsou vizuálně odlišena šedým podbarvením.

### 3.4 ERÚ-E3 Měsíční výkaz provozovatele přenosové soustavy

Vyplňuje a za každý měsíc zasílá ERÚ provozovatel přenosové soustavy ČEPS, a.s.

#### 3.4.1 Formát výkazu

Aktualizovaný výkaz je dostupný na webových stránkách ERÚ v sekci Elektřina – Statistika a sledování kvality – Vykazování [13]. Výkaz je ke stažení ve formátu XLSX.

#### 3.4.2 Obsah výkazu

Výkaz je rozdělen na dva formuláře ERÚ-E3a a ERÚ-E3b, ve kterých se vyplňují požadované informace a data. V ERÚ-E3a se před prvním oddílem vyplňuje informace, pro jaký vykazovaný měsíc a rok je výkaz podáván, datum vytvoření výkazu, odpovědný pracovník, kontakt. V ERÚ-E3b jsou pak informace držitel licence, IČO, měsíc a rok automaticky doplněny z ERÚ-E3a.

#### ERÚ-E3a

Je rozdělen na následující oddíly:

1. Oddíl Základní informace o subjektu – V České republice je jeden provozovatel PS, proto jsou již automaticky vyplněny údaje: držitel licence, IČO.
2. Oddíl Balance soustavy – Za celou PS se vyplňují celkové hodnoty jednotlivých bilančních položek pro: vstup do PS a výstup z PS.
3. Oddíl Přeshraniční toky – Vyplňují se data: exportu na úrovni PS a importu na úrovni PS mezi ES ČR a jednotlivými sousedními státy.
4. Oddíl Komentář – Vyplňují se další doplňující informace k vyplněným údajům, které jsou vykázány odlišně od metodiky vykazování [12].

#### ERÚ-E3b

Obsahuje oddíl Spotřeba a zatížení ES, ve kterém se pro každý den a každou hodinu v roce vyplňují data zatížení ES podle jednotlivých technologií elektráren, saldo zahraničí, čerpání PVE, technologická vlastní spotřeba na výrobu elektřiny, zatížení brutto, zatížení (bez TVSe). Oddíl je vyplňován kumulativně tzn., že v dalším měsíci se nově doplňovaná data doplní, k již vykázaným datům předchozího měsíce [10].

#### 3.4.3 Struktura

Formuláře výkazu jsou předpřipraveny způsobem, kdy vyplňující musí doplňované údaje a hodnoty jednotlivě doplnit či importovat. V oddílu 2 formuláře ERÚ-E3a je pak automaticky proveden výpočet celkových údajů vstupů a výstupů z PS. V oddílu 3 jsou automaticky vypočteny celkové hodnoty pro export, import a saldo. Stejně i ve formuláři ERÚ-E3b je proveden dopočet pro zatížení brutto a zatížení (bez TVSe). Dupočítaná data jsou opět vizuálně odlišena šedým podbarvením.

## 3.5 ERÚ-E4 Roční výkaz provozovatele přenosové soustavy a provozovatele distribuční soustavy

Vyplňují provozovatelé regionálních a lokálních distribučních soustav a provozovatel přenosové soustavy. Výkaz je vyplňován za celou soustavu provozovatele.

### 3.5.1 Formát výkazu

Aktualizovaný výkaz je dostupný na webových stránkách ERÚ v sekci Elektřina – Statistika a sledování kvality – Vykazování [13]. Výkaz je ke stažení ve formátu FO. Pro práci s výkazem ve formátu FO je nutné využít program Software 602 Form Filler.

### 3.5.2 Obsah výkazu

Výkaz je rozdělen na následující oddíly, ve kterých se vyplňují požadované informace a data. Před prvním oddílem je automaticky vyplněn vykazovaný rok.

1. Oddíl **Základní informace o subjektu** – Uvádějí se základní identifikační údaje: držitel licence, IČO, datum vyplnění, odpovědný pracovník, kontakt.
2. Oddíl **Profil společnosti** – Pro uvedené napěťové hladiny se jednotlivě vyplňuje: počet odběrných míst (OM), délka kabelových vedení, délka venkovních vedení, délka venkovních tras.
3. Oddíl **Transformace** – Pro uvedené rozhraní napěťových hladin se jednotlivě vyplňuje: transformační výkon a počet transformátorů.
4. Oddíl **Spotřeba** – Pro uvedené kategorie odběratelů se jednotlivě vyplňuje: počet OM a spotřeba.
5. Oddíl **Přeshraniční toky** – Vyplňují se data: exportu a importu mezi ČR a jednotlivými sousedními státy.
6. Oddíl **Komentář** – Vyplňují se další doplňující informace k vyplněným údajům, které jsou vykázány odlišně od metodiky vykazování [12].

### 3.5.3 Struktura

Formulář výkazu je předpřipraven obdobným způsobem jako ERÚ-E1, v 1. oddílu jsou automaticky doplňovány či nabízeny údaje jako držitel licence a IČO, které má ERÚ k dispozici. V následujících oddílech se musí údaje a hodnoty jednotlivě doplnit či importovat. Ve formuláři je opět i základní kontrola vyplněných údajů. Například při uvedení transformačního výkonu je uživatel upozorněn na nutnost uvést i počet transformátorů.

## 4. STATISTICKÉ METODY

### 4.1 Popisná statistika

Zabývá se hromadným zpracováním dat. Popisuje vlastnosti velkého statistického souboru pomocí čísel (ukazatelů). Zpracovaná data jsou interpretována formou grafů a tabulek.

#### 4.1.1 Základní statistické pojmy

##### Statistická jednotka, statistický znak

Statistické jednotky jsou základní prvky, na kterých jsou zkoumány jejich vlastnosti. Každá statistická jednotka (např. typ elektrárny), má vlastnosti (např. instalovaný výkon, vyrobenou energii, ...), které ji charakterizují. Tyto vlastnosti jsou statistické znaky [14].

##### Statistický soubor

Je souhrn všech statistických jednotek, které jsou předmětem zkoumání [14]. Pokud je statistickou jednotkou např. typ elektrárny pak statistickým souborem může být např. všechny elektrárny v ČR.

##### Statistické řady

Časová řada je statistický soubor, který vzniká ukládáním hodnot zjišťovaných často ve stejně vzdálených časových okamžicích nebo obdobích. Jedná se o soubor zkoumaný z pohledu času [15].

Variační řada je statistický soubor  $n$  hodnot znaků označených  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  seřazený vzestupně  $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_n$ . Počet  $n$  označuje rozsah souboru [15].

#### 4.1.2 Základní statistické charakteristiky

**Aritmetický průměr** je základním ukazatelem polohy statistického souboru [15]. Udává, jaká stejná část ze součtu všech hodnot znaků připadá na jednu jednotku. Současně je těžištěm hodnot znaků daného souboru. Vypočítá se podle vzorce [14]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.1)$$

kde  $x_i$  je  $i$ -tá hodnota znaku a  $n$  je počet hodnot.

**Geometrický průměr** se často omezuje na měření růstových veličin řetězených v čase. Lze říct, že reprezentuje stálost součinu hodnot znaků [16]. Má smysl tam, kde má informační hodnotu součin hodnot proměnné. Vypočítá se podle vzorce [14]

$$\bar{x} = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i}, \quad (4.2)$$

kde  $x_i$  je  $i$ -tá hodnota nárůstu a  $n$  je počet hodnot.

**Medián** je prostřední hodnota variační řady statistického souboru [15]. Rozdělí seřazený soubor na dvě poloviny, kdy jedna polovina má menší nebo rovné hodnoty než medián a druhá polovina má hodnoty větší nebo rovné. Má-li variační řada  $n$  prvků, kdy  $n$  je liché číslo pak medián je [15]:

$$\tilde{x} = x_k, \quad (4.3)$$

kde  $k = (n + 1)/2$  a má-li variační řada  $n$  prvků, kdy  $n$  je sudé číslo pak medián je [15]:

$$\tilde{x} = \frac{x_k + x_{k+1}}{2}, \quad (4.4)$$

kde  $k = n/2$ .

**Modus** je hodnota znaku, která se ve statistickém souboru vyskytuje nejčastěji. Lze ho použít i v neseřazeném souboru. Význam má především v souborech s jednou nejčastější hodnotou [15]. Značí se  $\tilde{x}$ .

**Rozptyl** je ukazatel založený na součtu čtverců odchylek. Základním ukazatelem rozptýlení hodnot jsou odchylky od aritmetického průměru. V praxi je ovšem nutné použít absolutní hodnoty odchylek nebo právě jejich čtverce z důvodu zabránění sčítání kladných a záporných odchylek. Rozptyl se počítá podle vzorce [15]:

$$s^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (4.5)$$

kde  $x_i$  je  $i$ -tá hodnota znaku,  $\bar{x}$  je aritmetický průměr a  $n$  počet hodnot.

**Směrodatná odchylka** je ukazatel rozptýlení. Zatímco rozptyl si lze představit jako obsah průměrného čtverce tak směrodatná odchylka je jeho stranou. Rozptyl je udáván ve čtverci měrné jednotky znaku ( $\text{MW}^2, \text{min}^2$ ), směrodatná odchylka je vyjádřena přímo v jednotkách ( $\text{MW}, \text{min}$ ). Vypočítá se podle vzorce [15]:

$$s = \sqrt{s^2}, \quad (4.6)$$

kde  $s^2$  je rozptyl.

**Variační rozpětí** je definováno jako rozdíl největší a nejmenší hodnoty ve statistickém souboru [15]. Vypočítá se podle vzorce:

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (4.7)$$

kde  $x_{\min}$  je minimální hodnota znaku a  $x_{\max}$  maximální hodnota znaku.

## 4.2 Analýza závislostí

Statistická analýza se často nezabývá pouze jednou vlastností (znakem), ale často i několika znaky mezi sebou závislými. Statistická analýza má tyto cíle [17]:

- Poskytnout číselné míry vztahu dvou proměnných
- Nalézt podobné vzorce pro optimální predikci proměnné (která je považována za závisle proměnnou)
- Ohodnotit chybu predikce
- Ověřovat hypotézy o zkoumaném vztahu



Mezi základní metody statistické analýzy těchto vztahů patří korelační a regresní analýza. Tyto analýzy jsou velmi úzce propojeny. Pearsonův koeficient  $r$  je směrnici b regresní přímky, pakliže hodnoty  $x$  a  $y$  jsou ve standardizovaných jednotkách [17].

#### 4.2.1 Zobrazení dvojrozměrných dat

Základní obecný postup [17]:

1. Zobrazení dat graficky.
2. Hledání základních konfigurací a tendencí v datech.
3. Přidání numerické charakteristiky různých aspektů dat.

Vynesení dat do grafu pomůže získat základní představu o rozdělení obou proměnných. Na základě, které lze odhadnout závislost nebo nezávislost mezi proměnnými. Cílem korelační a regresní analýzy je popis vztahu mezi proměnnými. Bodový graf nebo korelační tabulka indikují první představu o sledovaných proměnných, nelinearitě, nehomogenitě, nebo přítomnosti odlehlých hodnot [17].

#### 4.2.2 Korelační analýza

Korelace často značí stupeň asociace dvou proměnných (sílu závislosti zkoumaných statistických znaků). Proměnné se vyskytují společně s určitými hodnotami na druhé proměnné. Míra výskytu pak může být absolutní (pro  $x$  se vyskytuje právě jedna hodnota  $y$ ), nebo žádná (pro  $x$  se mohou nezávisle vyskytovat všechny hodnoty  $y$ ) [17].

U zkoumání korelačních vztahů má rozhodující význam kvalitativní rozbor zkoumaného statistického souboru. Závislost se neměří tam, kde na základě logického uvažování nemůže existovat a dále když je korelace způsobena [17]:

- a) Formálními vztahy mezi proměnnými
- b) Nehomogenitou
- c) Působením společné příčiny

Vztahy proměnných jsou zkoumány graficky a pomocí různých měr závislostí, které jsou nazývány korelační koeficienty [17].

#### Pearsonův korelační koeficient

Nejdůležitější míra síly a směru asociace dvou spojitých proměnných  $x$  a  $y$ . Nabývá hodnot z intervalu  $[-1; 1]$ . Pokud má hodnotu  $r = 1$  nebo  $r = -1$ , pak lze přesně vypočítat hodnotu  $y$  pomocí lineárního vztahu z  $x$  hodnoty. Pokud má hodnotu  $r = 1$  pak jsou  $x$  a  $y$  nekorelované hodnoty (na sobě nezávislé). Platí, že čím blíže je hodnota  $r$  blíže 1 nebo -1, tím jsou proměnné více korelovány [17].

Pearsonův koeficient lze vypočítat pro libovolný shluk bodů, ale adekvátně vyjádří pouze sílu lineárního vztahu. Vypočítá se [17]:

$$s_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{n - 1}, \quad (4.8)$$

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y}, \quad (4.9)$$

kde  $x_i$  a  $y_i$  je  $i$ -tá hodnota znaku,  $\bar{x}$  a  $\bar{y}$  je aritmetický průměr,  $s_{xy}$  je kovariance,  $s_x$  a  $s_y$  je směrodatná odchylka a  $n$  je počet hodnot.

### Parciální korelační koeficient

Korelace mezi dvěma proměnnými může být ovlivněna dalšími proměnnými. Parciální koeficient zkoumá míru síly mezi dvěma proměnnými  $x$  a  $y$  při vyloučení tzv. rušivého faktoru proměnné  $z$ . Vypočítá se podle vzorce [17]:

$$\rho_{xy,z} = \frac{\rho_{xy} - \rho_{xz} \cdot \rho_{yz}}{\sqrt{(1 - \rho_{xz}^2) \cdot (1 - \rho_{yz}^2)}}, \quad (4.10)$$

kde  $\rho_{xy}$ ,  $\rho_{xz}$  a  $\rho_{yz}$  jsou korelační koeficienty.

### Mnohonásobný koeficient korelace

Má využití při zjišťování síly vztahu mezi zvolenou proměnnou  $x$  a několika dalšími (predikujícími) proměnnými  $y$ ,  $z$ . Hodnotí kumulativní vliv více proměnných na cílovou proměnnou. Vypočítá se podle vzorce [17]:

$$\rho_{x,yz} = \sqrt{\frac{\rho_{xy}^2 + \rho_{xz}^2 - 2 \cdot \rho_{xz} \cdot \rho_{xy} \cdot \rho_{yz}}{1 - \rho_{yz}^2}}, \quad (4.11)$$

kde  $\rho_{xy}$ ,  $\rho_{xz}$  a  $\rho_{yz}$  jsou korelační koeficienty.

### Spearmanův korelační koeficient

Koreluje postupem podle Pearsona pořadí jednotlivých měření obou proměnných  $x$ ,  $y$ . Zachycuje monotónní vztahy (obecně rostoucí nebo klesající) a není ovlivňován odlehlými hodnotami [17].

Závislost proměnných může mít obecně vzestupný nebo klesající charakter. Nabývá hodnot z intervalu  $[-1; 1]$ . Pokud má hodnotu  $r_s = 1$ , je funkce vzestupná, pokud je  $r_s = -1$ , pak je funkce klesající. Vypočítá se podle vzorce [17]:

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n D_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)}, \quad (4.12)$$

kde  $n$  je počet hodnot a  $D_i$  je rozdíl pořadí  $x_i$  a  $y_i$ .

### Kendallův koeficient

Založen na inverzích v pořadí. Nejdříve je nutné seřadit dvojice  $(x_i, y_i)$  tak, že hodnoty  $x_i$  tvoří rostoucí posloupnost. Pokud je mezi  $x$  a  $y$  kladná asociace pak i  $y_i$  budou mít vzestupnou tendenci nastává tzv. konkordance. Naopak při záporné asociaci budou mít zápornou tendenci a nastává tzv. diskordance. Vypočítá se podle vzorce [17]:

$$t_k = \frac{S}{D} = \frac{P - Q}{D}, \quad (4.13)$$

$$D = n \cdot \frac{(n-1)}{2}, \quad (4.14)$$

kde  $S$  je tzv. Kendalovo  $S$ ,  $Q$  je počet všech diskordancí,  $P$  je počet všech konkordancí,  $D$  je maximální možný počet všech konkordancí a diskordancí a  $n$  je počet hodnot.

#### 4.2.3 Regresní analýza

V regresní analýze je obecně analyzován vztah mezi cílovou (závislou) proměnnou a dalšími tzv. nezávislými (ovlivňujícími) proměnnými. Cílová proměnná je nazývána regresand ( $y$ ), nezávislá je nazývána regresor ( $x$ ). Vztah je reprezentován rovnicí, která spojuje regresand s regresorem a pravděpodobnostními předpoklady a tvoří tak regresní funkci. Analyzované problémy pomocí regresní analýzy jsou [17]:

- Získání statistických odhadů neznámých parametrů regresní funkce
- Testování hypotéz o těchto parametrech
- Ověřování předpokladů regresního modelu

#### Prokládání dat přímkou a metoda nejmenších čtverců

Jestliže máme uspořádaný datový soubor pro proměnné  $x$ ,  $y$  a grafické zobrazení znázorňuje lineární charakter mezi proměnnými, snažíme se jednotlivé body grafu proložit přímkou. Žádná přímka ovšem nemusí protnout všechny body, a to zvláště v případech kdy je korelace mezi proměnnými menší. V takovém případě je požadováno, aby přímka byla co nejblíže k bodům ve vertikálním směru. Vhodně proložená přímka (4.15) minimalizuje velikost reziduálních hodnot (rozdíl mezi naměřenou a predikovanou hodnotou, značený  $e$ ). Rovnice přímky [17]:

$$y = a + b \cdot x, \quad (4.15)$$

kde  $a$ ,  $b$  jsou parametry přímky.

Nejčastěji se využívá metoda nejmenších čtverců. Hodnoty parametrů přímky se hledají tak, aby součet druhých mocnin reziduálních hodnot byl minimální [17]:

$$s_r^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - b \cdot x_i)^2, \quad (4.16)$$

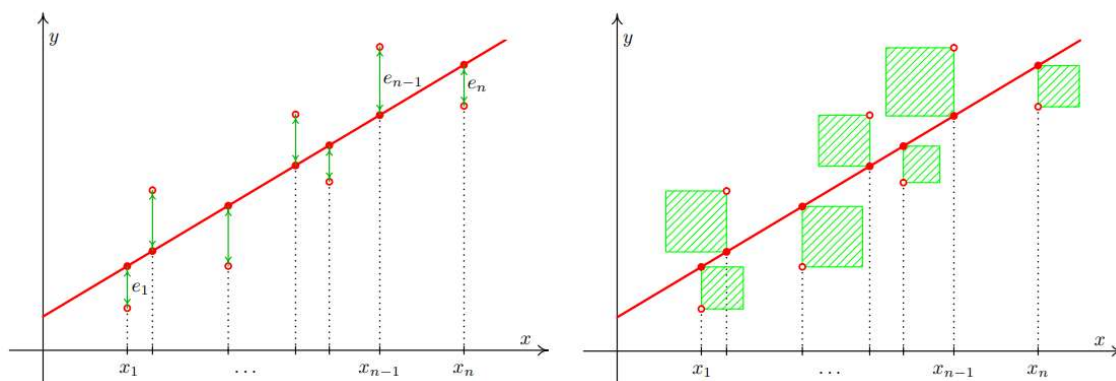
kde  $a$ ,  $b$  jsou parametry přímky a  $e$  je reziduální hodnota.

Minimalizují se sečtené čtverce úseček, mezi bodem a proloženou přímkou ve směru osy  $y$ . Optimální hodnoty jsou pak [17]:

$$b = r \cdot \frac{s_y}{s_x}, \quad (4.17)$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}, \quad (4.18)$$

kde  $r$  je korelační koeficient a  $s_y$ ,  $s_x$  jsou směrodatné odchylky.



Obrázek 2 Metoda nejmenších čtverců a) reziduální hodnoty, b) součet obsahu čtverců je minimální, upraveno z [18]

Nalezená přímka je regresní přímka. Odhad cílové proměnné se vypočítá pomocí vztahu [15]:

$$\hat{y}_i = a + b \cdot \bar{x}_i, \quad (4.19)$$

kde  $n$  je počet proměnných hodnot,  $y_i$  je naměřená hodnota,  $\hat{y}_i$  je predikovaná hodnota a  $s_r^2$  je součet druhých mocnin reziduálních hodnot.

### Grafická analýza reziduálních hodnot

Grafická analýza dvojrozměrného bodového grafu, slouží především k ověření linearity vztahu. Dále přehledně ukazuje neobvyklé hodnoty a také jakým způsobem regresní přímka vystihuje vztah mezi závisle a nezávisle proměnnou [17].

Ověření kvality proložení dat přímkou pomáhá analýza reziduálních hodnot. Pro které lze sestavit histogram, nebo dvojrozměrný bodový graf zachycující vztah reziduálních hodnot  $e_i$  k nezávislé proměnné  $x$  [17].

### Statistické usuzování v lineárním regresním modelu

Regresní analýza vychází z konceptu, kdy hodnota nezávisle proměnné  $x$  určuje hodnotu závisle proměnné  $y$ . Hodnoty regresní funkce se odvíjí od průměrných hodnot závisle proměnné, při zadaných hodnotách nezávisle proměnné. Párové hodnoty  $(x_i, y_i)$  lze získat [17]:

- Volbou nezávisle proměnné  $x_i$
- Zjištěním párové hodnoty na  $n$  jednotkách náhodně vybraných

Třetí doplňující parametr regresního modelu, směrodatná odchylka odhadu při regresi, popisuje variabilitu proměnné  $y$  okolo regresní přímky a velikost reziduálních chyb. Testy významnosti lze provést s pomocí intervalů spolehlivosti [17]:

- Interval spolehlivosti
- Predikční interval pro budoucí pozorování  $y$

Přibližně platí, že dvě rovnoběžky k vypočítané regresní přímce na každé straně (ve směru osy  $y$ ) tvoří pás, ve kterém je 95 % všech pozorování [17].

## 5. NÁVRH ZPRACOVÁNÍ STATISTICKÝCH VÝKAZŮ

### 5.1 Programovací jazyk Python

Python je programovací jazyk, který vytvořil v roce 1990 Guido van Rossum. Jedná se o stručný a snadno naučitelný jazyk, jeho kód je velmi srozumitelný a přehledný pro zápis a čtení. Oproti jazyku C++ nebo Java stačí pro napsání obdobného kódu významně méně řádků [19].

Python je volně použitelný a dále šiřitelný, a to i pro komerční použití. Vyvíjen je v souladu s Open Systems Interconnection (OSI) environment. Je o multiplatformní jazyk, napsaný program lze beze změn spustit v operačních systémech Windows, Linux a Mac OS [20].

Pro práci v programu Python bylo v předkládané diplomové práci využito volně dostupné vědecké vývojové prostředí Spyder. Součástí programovacího jazyka jsou komplexní knihovny, s možností rozšíření o tisíce knihoven vytvořených třetími stranami (komunitou) [20].

#### 5.1.1 Významné knihovny

##### Pandas

Knihovna poskytuje flexibilní manipulaci a analýzu velkého množství dat. Hlavními datovými strukturami jsou [21]:

- a) Series
- b) DataFrame

Series je jednorozměrné pole typu ndarray. Na jeho základě pracuje tabulková dvourozměrná struktura DataFrame. Kterou lze zaplnit textovými a numerickými daty. Knihovna Pandas díky svým hlavním datovým strukturám nabízí přehlednou manipulaci s chybějícími daty (NaN), snadnou modifikaci dat například mazání a slučování sloupců, základní třídění a řazení. Nástroje knihovny dále umožňují zápis a načítání dat ze souborů .csv a .xlsx. Pandas byla navržena na základě knihovny NumPy a připravena ke spolupráci s knihovnami dalších (třetích) stran [21].

##### NumPy

NumPy je základní balíček pro výpočty v Pythonu. Poskytuje vícerozměrné pole značeno ndarray, různé odvozené objekty a výběr matematických operací s poli. Jádrem knihovny je zmíněné vícerozměrné pole ndarray skládající se z homogenních datových typů. Nad ndarray jsou prováděny definované výpočty a operace [22].

##### Matplotlib

Matplotlib je knihovna pro vytváření grafů jako jsou spojnicové, bodové, sloupcové grafy, histogramy apod. Knihovna je napsána především v jazyce Python, ale významným způsobem využívá knihovnu NumPy [23].

## Scikit-learn

Je univerzální knihovna pro strojové učení. Algoritmy jsou určené pro klasifikaci, regrese a shlukování objektů. Programována byla v jazycích Python, C a C++. Napsaná na základě knihoven NumPy, SciPy a Matplotlib za účelem vytvoření snadného a efektivního nástroje pro predikci a analýzu dat. Volně dostupná pro komerční využití – BSD licence [24].

## 5.2 Zpracování výpočetního kódu

### 5.2.1 Data

Primárním zdrojem dat jsou statistické výkazy ERÚ-E1 Měsíční výkaz držitele licence na výrobu elektřiny o bilanci elektřiny a tepla a palivech. Formát a struktura výkazů byla popsána v kapitole číslo 3.2. Zpracovávají jsou výkazy tří výroben za uplynulých šesti let, období 2015 až 2020. Na jednu výrobní odpovídá za dané období 72 výkazů ve formátu .ZFO. Pro další práci byly výkazy uloženy jako soubory typu .xml.

Uvedené výrobní jsou kogenerační jednotky s technologií KVVET instalované v Jihomoravském kraji. Z jednotlivých výkazů jsou získávána následující data:

- a) Měsíc
- b) Rok
- c) Elektrický instalovaný výkon (MWe)
- d) Tepelný instalovaný výkon (MWt)
- e) Celková spotřeba paliva (MWh)
- f) Brutto výroba elektřiny (MWh)
- g) Brutto výroba tepla (GJ)

Sekundárním, externím, zdrojem dat jsou hodnoty průměrných měsíčních teplot vzduchu ve srovnání s normálem 1981–2010 na území ČR a jednotlivých krajů [25]. Hodnoty průměrných měsíčních teplot zveřejňuje na svých stránkách Český hydrometeorologický ústav.

Pro každý rok byly použity průměrné teploty vzduchu na území Jihomoravského kraje, které byly staženy a uloženy souboru s názvem Průměrné teploty 2015-2020, typ souboru je .xlsx

### 5.2.2 Zdrojový kód

#### Import a úprava dat

Po zadání umístění (URL adresy) složky s jednotlivými výkazy, je provedeno načtení a uložení dat ze všech souborů .xml. Data jsou umístěna v datové struktuře: „*df*“. Současně jsou načteny průměrné teploty z externího souboru nyní ve formátu .xlsx do datové struktury: „*df1*“. Neseřazená data uložená v „*df*“ jsou seřazena podle měsíce a roku, kterým jsou přiřazeny hodnoty průměrných měsíčních teplot z „*df1*“.

### Výpočet úspory primární energie (UPE)

Na základě rozsahu sbíraných dat ve výkazech, jsou u sledovaných kogeneračních jednotek k dispozici všechna potřebná data pro výpočet úspory primární energie (UPE). V připraveném kódu je proto proveden výpočet dle následujícího vztahu [29]:

$$UPE = \left( 1 - \frac{1}{\frac{\eta_q^T}{\eta_r^V} + \frac{\eta_e^T}{\eta_r^E}} \right) \cdot 100, \quad (5.1)$$

kde  $\eta_q^T$  je energetická účinnost dodávky tepla z kombinované výroby,  $\eta_e^T$  je elektrická účinnost kombinované výroby,  $\eta_r^V$  je referenční hodnota energetické účinnosti oddělené výroby tepla a  $\eta_r^E$  ... je referenční hodnota účinnosti oddělené výroby elektřiny.

Energetická účinnost dodávky tepla z kombinované výroby se vypočítá podle:

$$\eta_q^T = \frac{Q_{už}^T}{Q_{pal}^T}, \quad (5.2)$$

kde  $Q_{už}^T$  je měsíční nebo roční výroba užitečného tepla dodaného z kombinované výroby a  $Q_{pal}^T$  je energetický potenciál paliva použitého ke společné výrobě užitečného tepla a elektřiny.

Elektrická účinnost kombinované výroby se vypočítá podle:

$$\eta_e^T = \frac{E^T}{Q_{pal}^T} \quad (5.3)$$

kde  $E^T$  je množství elektřiny vyrobené z KVET připadající na zemní plyn a  $Q_{pal}^T$  je energetický potenciál paliva použitého ke společné výrobě užitečného tepla a elektřiny.

### Lineární a polynomická regrese

Pro zpracování lineární a polynomické regrese je použita knihovna Scikit-learn [24], obsahující metody určené pro regrese, u kterých předpokládá matematický zápis:

$$\hat{y}(w, x) = w_0 + w_1 \cdot x_1 + \dots + w_p \cdot x_p \quad (5.4)$$

kde  $\hat{y}$  je cílová predikovaná proměnná,  $w = (w_0, \dots, w_p)$  jsou koeficienty (coef) a  $w_0$  je konstanta (intercept).

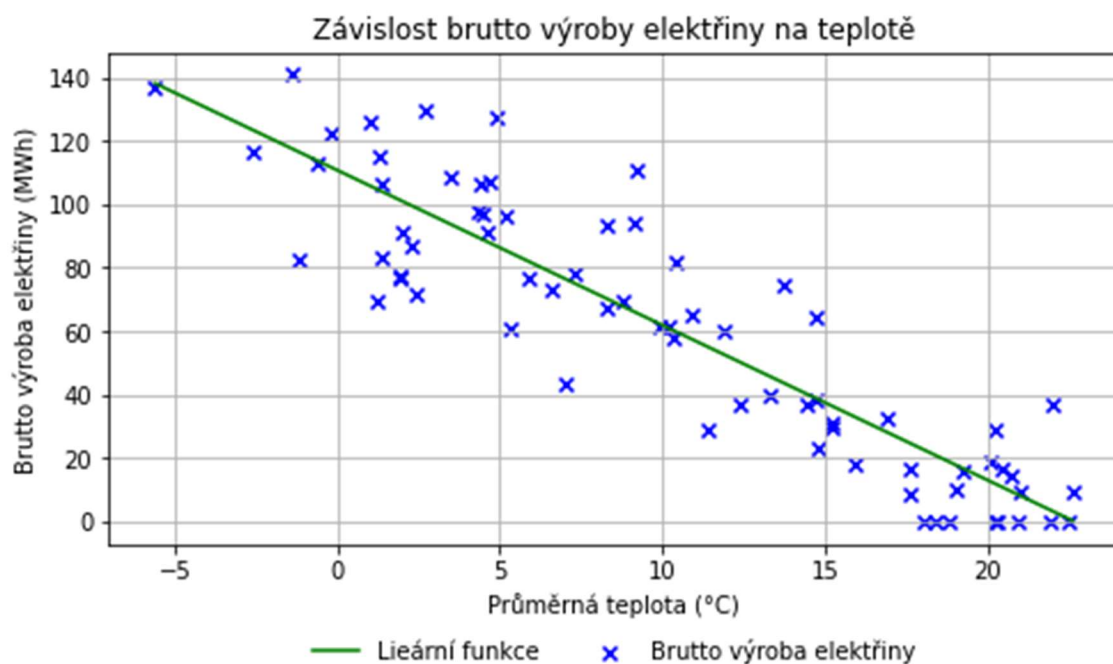
Jednotlivé sledované body jsou proloženy přímkou sestavenou dle metody nejmenších čtverců. O předpověď lineární aproximace se stará funkce knihovny nazvaná `LinerRegression`, která vypočítá hodnoty koeficientů  $w = (w_0, \dots, w_p)$ .

Knihovna Scikit-learn je určena především pro strojové učení, v rámci strojového učení je výhodné použití lineárních modelů k počítání nelineárních funkcí z důvodu rychlého zpracování a vhodného proložení širokého spektra dat.

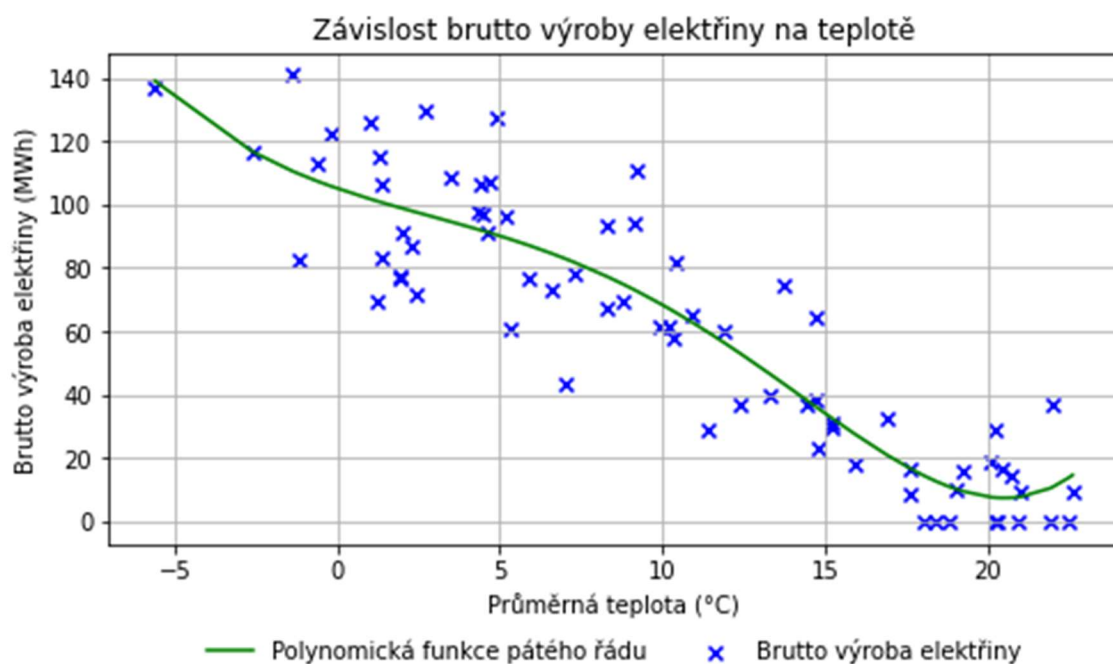
V navrženém zdrojovém kódu se lineární i polynomický model liší ve stupni polynomického modelu. Základní lineární model je rozšiřován funkcí `PolynomialFeatures`. Pro lineární model je nastaven `PolynomialFeatures` stupeň (degree) 1, pro polynomický model stupeň 5. Průměrné teploty jednotlivých měsíců jsou uloženy

v poli array s názvem tep, pro které jsou vytvořeny vhodné parametry a s použitím LinearRegression je proveden výpočet koeficientů rovnice (5.4).

Vytvořený lineární model je znázorněn na *Obrázku 3* a polynomický model znázorněn na *Obrázku 4*. Nyní lze predikovat cílovou proměnnou (Brutto výrobu elektřiny) v závislosti na nezávislé proměnné (průměrných teplotách roku 2014):



*Obrázek 3 Model proložen přímkou*



*Obrázek 4 Model proložen polynomem*



## Výsledné hodnoty

V následující tabulce jsou uvedeny výsledky predikovaných hodnot výroby elektrické energie jednotlivých modelů na základě předpokládaných průměrných měsíčních teplot. Pro ilustraci a možnosti porovnání dosažených výsledků se skutečnými hodnotami byly použity data vybrané výroby, u které jsou známy skutečné hodnoty výroby v roce 2014. Pro daný rok byla v modelech využita skutečná data průměrných teplot, která simulují předpověď viz. *Tabulka 1*. Z hodnocení byly vynechány měsíce červenec a srpen, jelikož výroba v období letních prázdnin nepracuje ve standardním provozním režimu.

*Tabulka 1. Hodnocení predikovaných hodnot, Python*

Měsíc	Vyrobená elektrická energie (MWh)	Polynomický model		Lineární model	
		Predikce (MWh)	Relativní chyba (%)	Predikce (MWh)	Relativní chyba (%)
1.	121,5	102,1	15,9	106,4	12,4
2.	120,6	96,8	19,7	97,6	19,1
3.	94,5	80,9	14,4	74,1	21,6
4.	64,6	63,5	1,7	58	10,3
5.	38,9	44,4	14	44,3	13,8
6.	27,7	15,7	43,4	23,8	14,3
7.	0	-	-	-	-
8.	19,1	-	-	-	-
9.	35	34,9	0,4	38	8,4
10.	86,6	64,8	25,2	59	31,9
11.	110,4	83	24,9	76,6	30,7
12.	131,6	98,8	24,9	101	23,3

## Vizuální interpretace dat

Dle rozsahu sledovaných hodnot ve statistickém výkazu ERÚ-E1 byly ve výpočetním kódu zpracovány grafické výstupy, které by v novém systému poskytovali uživateli přehled o vykazované výrobě. Grafické návrhy jsou zobrazeny v příloze A.1. Navrhnuté výstupy jsou:

- Historická brutto výroba elektřiny za sledované období
- Brutto výroba elektřiny za poslední uplynulé roky
- Meziroční změna brutto výroby elektřiny
- Vývoj ukazatele UPE
- Predikce brutto výroby elektřiny

## 5.3 Analytická platforma KNIME

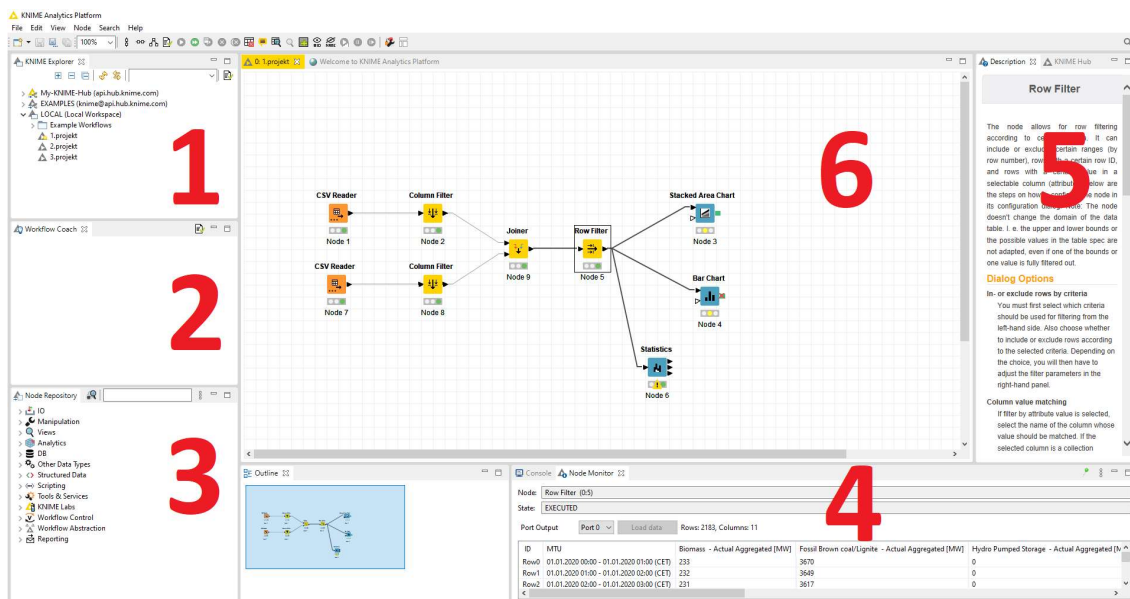
KNIME je bezplatná volně použitelná platforma, pro analýzu vykazování a správu dat. Navržena jako analytický nástroj s intuitivním drag and drop (táhni a pusť) rozhraním. Grafické propojení jednotlivých nástrojů (anglicky Nodes) zajišťuje stálou kontrolu a přehlednost každého kroku v každém projektu [26]. Platforma umožňuje uživateli zaměřit se přímo na analýzu dat bez nutnosti znalosti programovacích jazyků.

Obsahuje nástroje, které umožňují rozšíření o skripty napsané v jazycích Python, R a další. V projektech lze otevírat a kombinovat data z různých formátů (CSV, PDF, XLSX, ...), připojit se k databázím jako jsou Oracle, Microsoft SQL. V komerční části KNIME Server je umožněno získávání a prezentování dat ze SharePoint, SAP Reader, Google Sheets a další [26].

### 5.3.1 Základní uživatelské prostředí

Typické rozvržení pracovního prostředí je ukázáno na *Obrázku 5*. Obsahuje 6 základních částí:

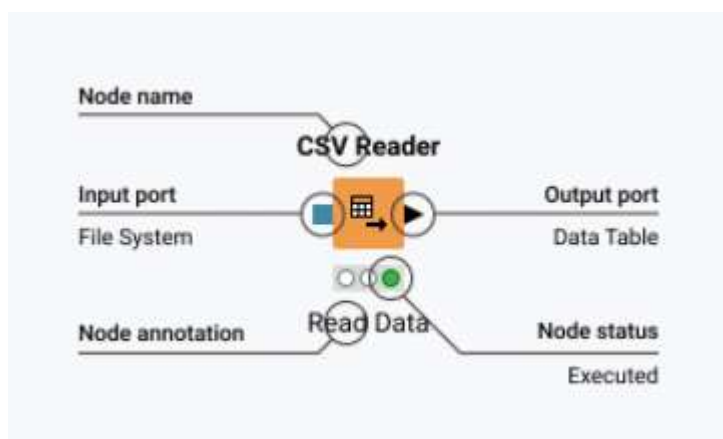
- a) **Část 1 prohlížeč (explorer):** zobrazuje dostupné projekty a umožňuje jejich správu.
- b) **Část 2 rádce (workflow coach):** poskytuje seznam možného použití doporučených nástrojů v řešeném projektu na základě podobných řešených projektů ostatních uživatelů.
- c) **Část 3 úložiště nástrojů (node repository):** Zde jsou dostupné všechny nástroje (nodes) KNIME. Nástroje jsou organizované v jednotlivých kategoriích (Manipulation, Analytics, ...). Jednotlivé nástroje lze podle názvu vyhledávat ve vyhledávači.
- d) **Část 4 monitor nástroje (node monitor):** Zobrazuje přehled dat ve zvoleném nástroji.
- e) **Část 5 popis (description):** Poskytuje popis aktuálního projektu nebo zvoleného nástroje. U zvoleného nástroje zobrazuje jeho také možnosti nastavení, pokud zvolený nástroj provádí výpočty, obsahuje odkaz například na článek, který obsahuje teoretický podklad.
- f) **Část 6 pracovní plocha (workflow editor):** Místo pro práci s projektem. Zde se sestavují a propojují jednotlivé nástroje.



Obrázek 5 Uživatelské prostředí KNIME

### 5.3.2 Popis nástrojů (Nodes)

Jednotlivé procesy jsou reprezentovány nástroji, které zpracovávají úkoly jako jsou čtení/zápis souborů, transformace dat, tvorba vizualizací, a další. Nástroje jsou zobrazovány jako barevné boxy se vstupem na levé straně a výstupem na pravé. Boxy se na pracovní ploše propojují spojením výstupu prvního boxu se vstupem druhého. Lze propojovat pouze výstupní a vstupní porty boxů stejného typu (databáze-databáze, obrázek-obrázek, model-model, ...). Název použitého boxu je uveden v horní části, ve spodní části pod boxem je zobrazen aktuální status a popisek autora. Propis jednotlivých částí je zobrazen na *Obrázku 6* [27].



Obrázek 6 Nástroj reprezentovaný boxem na pracovní ploše, popis [27]

U boxů se zobrazují statusy:

- Nenakonfigurován = čeká na konfiguraci nebo příchozí data.
- Nakonfigurován = data byla v pořádku načtena, čeká na spuštění

- c) Provedeno (Executed) = zadaný úkol byl zpracován, možné zobrazit výstupní data
- d) Chyba = při zpracování úkolu nastala chyba

### Nástroje pro import

Pro import dat do pracovního prostředí KNIME lze provést zmíněným táhni a pusť systémem. Soubor s daty například .xlsx stačí jednoduše přetáhnout ze složky na pracovní plochu KNIME. Automaticky je uživateli nabídnuta přednastavená konfigurace příslušného nástroje a náhled dat se současným nastavením. Dle potřeb je možné nastavení upravovat například z dat importovat pouze některé vybrané sloupce a řádky. Dalším způsobem je použití některého z nástrojů pro čtení dat. Po přidání nástroje do pracovní plochy manuálně je navíc v konfiguraci nutné zadat URL adresu souboru s daty. Data lze importovat kromě různých souborů i z databází, anebo využít napsaného scriptu. Návod na import dat pomocí zdrojového kódu Python je uveden v kapitole 5.3.6.

### Základní nástroje pro manipulaci a úpravu dat

Pro efektivní práci s velkými soubory dat KNIME nabízí různé nástroje sloužící k filtrování, slučování/rozdělování a úpravu dat:

- a) **Filtr sloupců (Column Filter)** ze vstupní tabulky k další práci přenesou pouze zvolené sloupce
- b) **Filtr řádků (Row Filter)** umožňuje filtrování dle určitých kritérií:
  - Zahrnout nebo vyjmout řádky podle ID nebo čísla řádku
  - Zahrnout nebo vyjmout řádky s konkrétní hodnotou nebo rozsahem hodnot ve zvoleném sloupci
- c) **Slučovač (Joiner)** sloučí dvě tabulky do jedné, podle společného znaku (např. datumu, čísla řádku)
- d) **Chybějící hodnoty (Missing Value)** vyhledá chybějící hodnoty v souboru dat, které může upravit nebo vyjmout dle nastavených kritérií:
  - Ponechat chybějící hodnoty
  - Opravit hodnotu (doplní hodnotu zadanou uživatelem)
  - Provést lineární interpolaci
  - Vyjmout řádek s chybějící hodnotou
  - Uvést vybranou veličinu z následujících: maximum, minimum, medián, průměr, nejčastější hodnotu, klouzavý průměr, následující hodnotu nebo předchozí hodnotu

Nástroj chybějících hodnot je velmi důležitá součást mnoha projektů, ve kterých se provádí výpočty a hodnocení. Nástroje jako je například nástroj pro tvorbu lineární regrese (Linear Regression Learner) může správně pracovat pouze s datovým souborem, který neobsahuje žádné chybějící hodnoty.

- e) **Rozdělovač (Partitioning)** vstupní datový soubor rozdělí po řádcích na dvě části. Rozdělení lze provést po určitém počtu řádků anebo zadáním relativním způsobem (například 80 % a 20 %).

### Nástroje pro export

Export z prostředí KNIME je umožněn širokou paletou nástrojů. Umožněn je export tabulkových dat, modelů, obrázků i databází. Tabulková data lze zapsat například použitím nástrojů CSV Writer, Excel Writer. Nastavení nástrojů umožňuje:

- a) Zvolit cílovou složku (URL adresu), název souboru a název listu.
- b) Jestliže cílový soubor již existuje
  - Přepsat soubor
  - Doplnit soubor
    1. Vytvořit nový list
    2. Přepsat stávající list
  - Chybové hlášení
- c) Měnit formát zápisu sloupců

Pomocí nástroje „*Model Writer*“ po zadání cílové složky lze zapsat i vytvořený model. Například z projektu vizualizovaného na *Obrázku 11* lze exportovat model „*Lineární regrese*“, který pak lze použít v nezávislém projektu bez nutnosti tzv. trénování na stejných datech.

### 5.3.3 Proměnné parametry (Flow Variables)

Proměnný parametr je dynamická proměnná, která se používá pro hromadné konfigurace zvolených nástrojů (nodes) v projektu. U projektů obsahujících desítky různých nástrojů se jedná o nezbytnou součást, nelze efektivně při každém spuštění individuálně nastavovat každý nástroj zvlášť.

Lze uvést dva typy proměnných parametrů:

- a) Komplexní – automaticky nastavitelný u všech nástrojů v projektu
- b) Lokální – nastavitelný pouze u propojených nástrojů

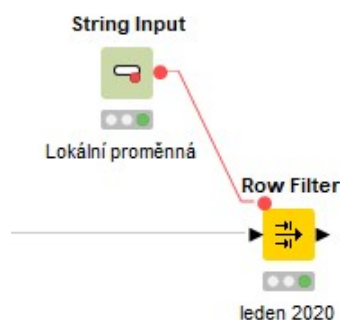
#### Komplexní proměnné parametry

V uživatelském prostředí prohlížeč (část 1) je třeba pravým tlačítkem myši zvolit aktuální projekt a vybrat „*Workflow variables*“. Následně se zobrazí intuitivní správa nastavení, kde lze vytvářet, mazat a upravovat jednotlivé parametry.

#### Lokální proměnné parametry

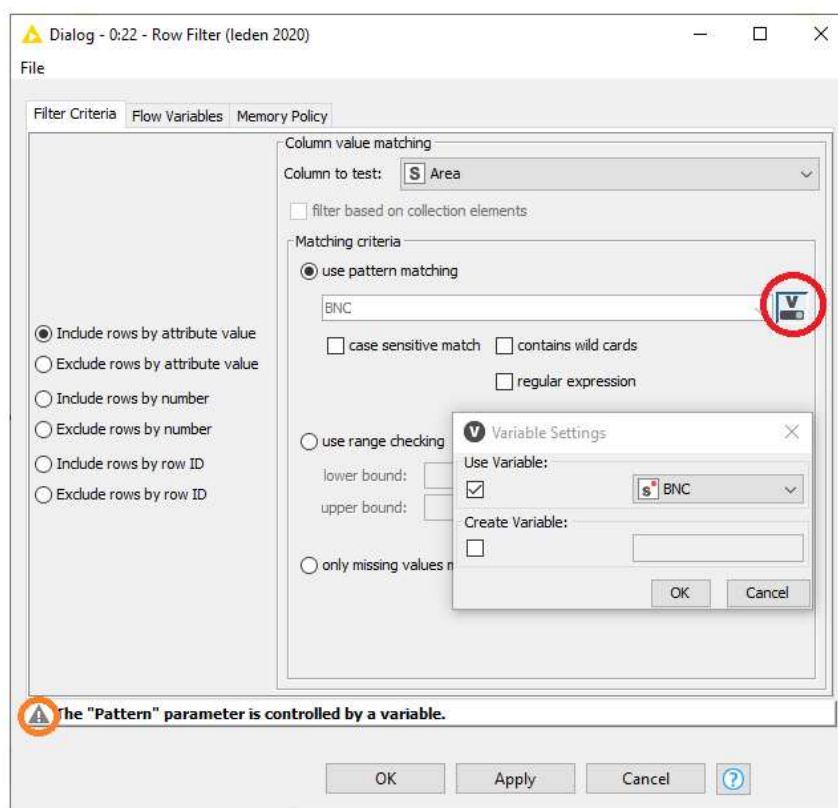
Jsou dostupné v úložišti nástrojů (část 3) v sekci „*Quickforms -> Input*“, odkud lze zvolený parametr systémem táhni a pusť implementovat do projektu. Nástroje mají výstup „*Flow Variable*“ reprezentovaný červeným portem. Porty „*Flow Variable*“ jsou standardně u ostatních nástrojů skryté. Lze je zobrazit v menu nástrojů zvolením „*Show Flow Variable Ports*“. I ve standardním zobrazení je nástroje lze propojit u cílového

nástroje se následně automaticky zobrazí vstupní port pro proměnné parametry. Propojení je znázorněno na *Obrázku 7*.



*Obrázek 7 Příklad propojení lokálního parametru s nástrojem*

Má-li být nástroj konfigurován proměnným parametrem, je nutné provést jeho nastavení. U lokálních proměnných parametrů je nutné nejdříve nástroje propojit. Příklad nastavení je ukázán na *Obrázku 8*, kde nástroji Filtr řádků je nakonfigurováno zahrnout pouze řádky tabulky obsahující BNC. Nastavení a výběr proměnného parametru se v uváděném příkladu zvolí výběrem tlačítka zvýrazněného červenou barvou. Ve spodní části se následně ukáže upozornění, o úspěšném provedení.



*Obrázek 8 Nastavení proměnného parametru, filtr řádků*

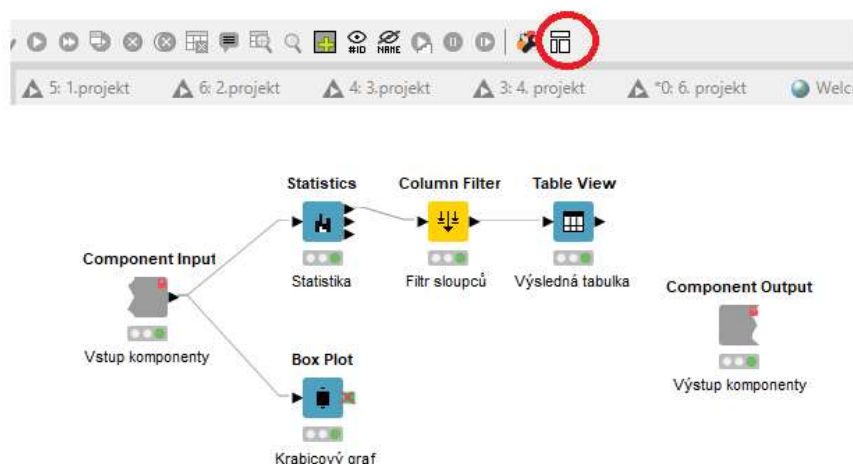
### 5.3.4 Komponenty

Komponenty jsou nástroje, které v sobě integrují dílčí projekty tvořené standardními nástroji často obsahují velmi komplexní projekty. Umožňují opakované použití v různých projektech, lze je sdílet na KNIME Serveru a KNIME Hub. Současně je umožněn import do vlastního projektu. Komponenty umožňují interaktivní ovládání, nastavování parametrů a vizualizaci dat. Skrze komponenty je propojena bezplatně použitelná část platformy KNIME a produkční část KNIME Server, která poskytuje například přístup k interaktivním vizualizacím dat skrze webový portál.

#### Vytvoření a editace komponenty

Komponenta se vytvoří označením vybraných nástrojů, stisknutím pravého tlačítka myši a výběrem „Create Component“.

Úpravy a nastavování dílčích nástrojů lze provádět kliknutím pravým tlačítkem na komponentu a zvolením „Component -> Open“. Dílčí projekt a nástroje lze standardně upravovat jako v klasickém projektu, na *Obrázku 9* je ukázán vzhled dílčího projektu. Červeně je zvýrazněno nastavení, ve kterém lze velmi intuitivně nastavovat rozložení interaktivního ovládání a zobrazování dat.



*Obrázek 9 Dílčí projekt komponenty*

### 5.3.5 Instalace rozšíření Python

Integraci Pythonu lze najít přímo v KNIME. V levém horním rohu je třeba zvolit File a následně vybrat možnost Install KNIME Extensions. Ve vyhledávači vyhledat Python a zvolit KNIME & Extension – KNIME Python Integration, zvolením Next následně Finish se rozšíření automaticky nainstaluje. Po instalaci je nutné KNIME restartovat.

Dalším krokem je instalace softwaru distribuce programovacích jazyků Anaconda (nebo Miniconda) – pouze v případě, že ještě není nainstalována.

Na závěr je nutné nastavení prostředí Python. Nastavení se provede v Preferences, které jsou v menu pod File. V Preferences se ve výběru zvolí Python, environment je

nutné zvolit Conda, specifikovat umístění Condy v PC. Po zadání umístění se zvolí conda prostředí (podle uživatele), pokud zatím nebylo žádné prostředí vytvořeno – automaticky se otevře okno, pro zadání názvu prostředí, které se následně vytvoří a instalace je dokončena.

### 5.3.6 Implementace zdrojového kódu Python

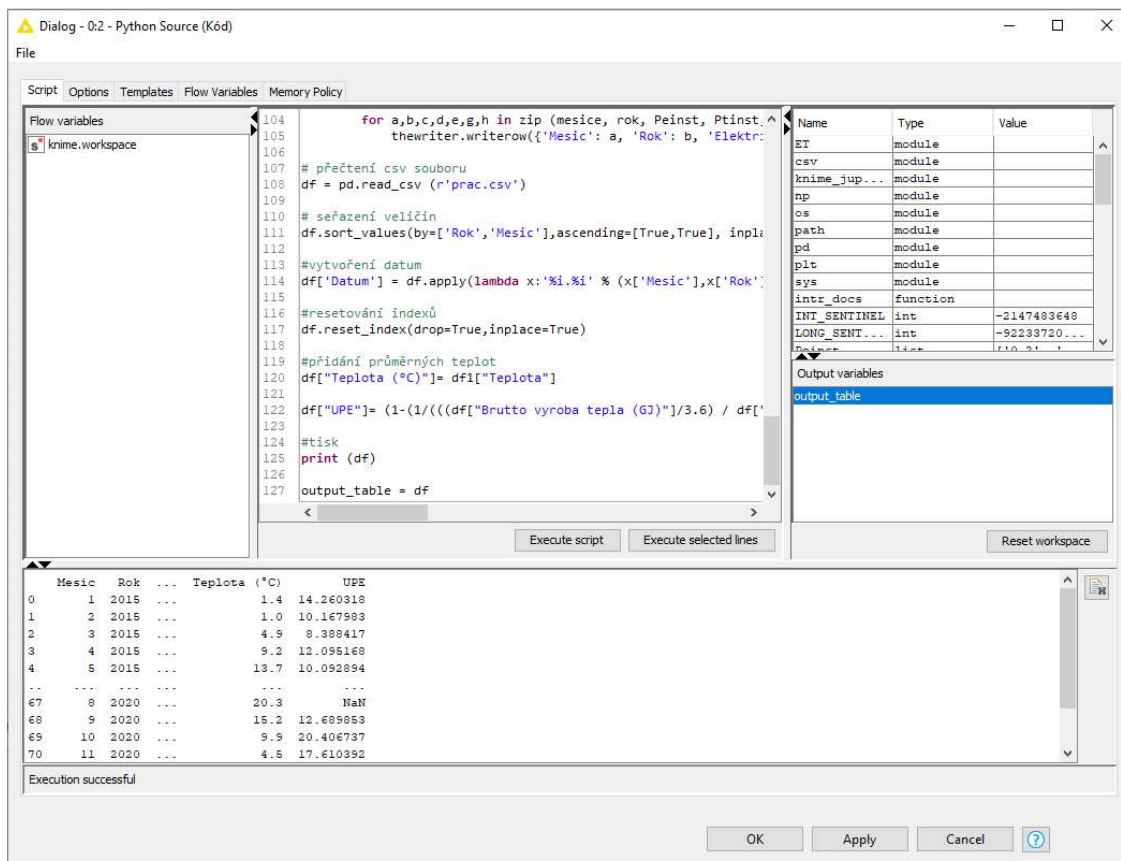
Zdrojový kód Pythonu lze implementovat použitím nástrojů (nodes) v sekci Scripting – Python. V uvedeném příkladu je použit zdrojový kód popsáný v kapitole číslo 5.2.2 s výjimkou částí kódu zpracovávajících grafické výstupy a regrese.

Zdrojový kód se v aktuálním projektu využije jako zdroj dat. Do pracovní plochy je třeba vložit nástroj Python source. Na *Obrázku 10* je znázorněna konfigurace nástroje. Okno konfigurace je obdobné jako vývojovém prostředí Spyder. Hlavní prostřední část je konzole se zdrojovým kódem. Kód je zde možné dále upravovat. V pravé části je umístěn průzkumník proměnných veličin (Variable explorer), kde jsou zobrazeny datové struktury. Pokud je v kódu provedeno například kontrolní zobrazení příkazem: `print (DataFrame)`. Je zvolená datová struktura (DataFrame) po spuštění kódu vytisknuta do této konzole.

Aby na výstupu použitého nástroje byly požadované veličiny je třeba zdrojový kód doplnit o příkaz `output_table`. V aktuálním kódu jsou výsledná data uložena v DataFrame pojmenovaný „*df*“. Pro výstup výsledných veličin je následující zápis příkazu: „`output_table = df`“.

Po doplnění příkazu se dále v konfiguračním okně provede spuštění kódu stisknutím `Execute script`, zvolí se `Apply` a `OK`. Nyní jsou výsledná data k dispozici pro práci ve výstupu nástroje. Příklad implementace nástroje se zdrojovým kódem Python v projektu je zobrazený na *Obrázku 11*.



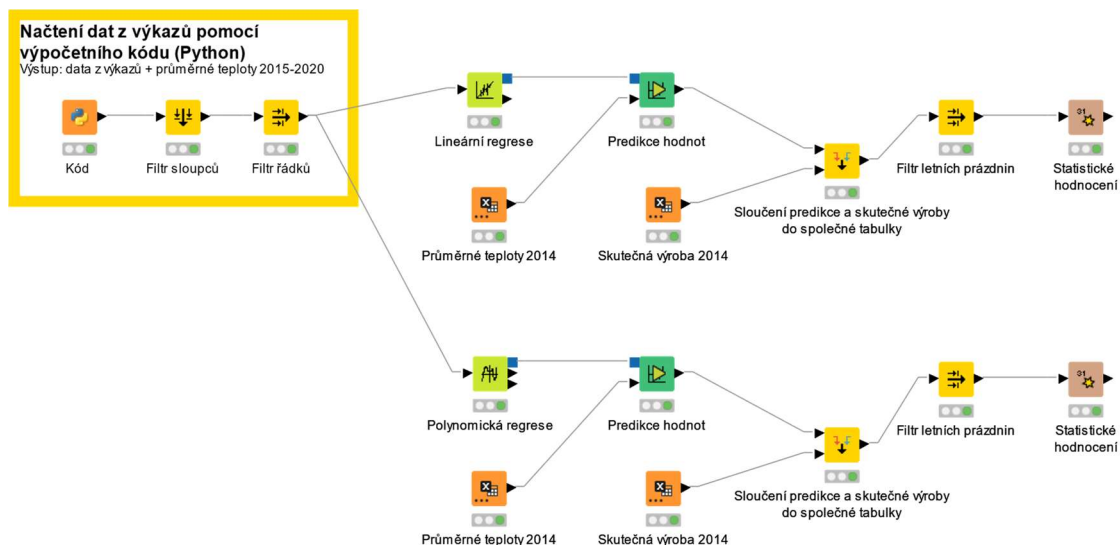


Obrázek 10 Konfigurace nástroje Python Source

### 5.3.7 Lineární a polynomická regrese

V kapitole číslo 5.2.2 jsou v rámci zdrojového kódu v Pythonu zpracovány modely lineární a polynomické regrese. V této kapitole jsou pro porovnání v KNIME vytvořeny stejné modely a zhodnoceny dosažené výsledky.

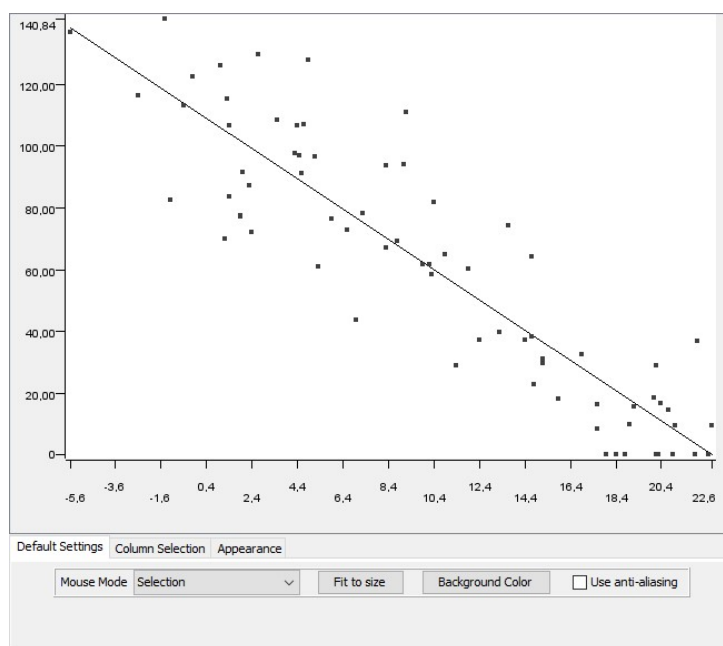
Výsledný projekt je zobrazený na Obrázku 11. Nejprve je nutné provést načtení dat ze statistických výkazů ERÚ-E1. Načtení je provedeno pomocí nástroje obsahující zdrojový kód Python, určený k načítání výkazů umístěných v definované složce současně jsou načteny hodnoty průměrných měsíčních teplot. Nástroj je v oranžovém boxu s popiskem Kód. Výstupní data jsou dále propojena s filtry podle sloupců a podle řádků. Tyto vstupní boxy jsou pro přehlednost navíc pro ukázkou barevně ohraničeny a podrobněji uveden popis jejich účelu. Vstupní hodnoty jsou dále směřovány ke zmíněným nástrojům regresních modelů.



Obrázek 11 Projekt lineární a polynommické regrese v KNIME

## Lineární regrese

Vstupní boxy jsou nyní propojeny se vstupním portem nástroje vytvářející lineární regrese. Kterému byla nastavena jako cílová proměnná (regresand) Brutto výroba elektřiny (MWh) a nezávislá proměnná (regresor) Teplota (°C) ostatní proměnné byly vyloučené pro další výpočty. Box lineární regrese nyní poskytuje dva výstupy (model a data) navíc i základní grafické zobrazení nalezené přímky, které je ukázané na *Obrázku 12*. První výstup je model určený k propojení s nástrojem pro predikci. Druhým výstupem jsou koeficienty a statistika modelu se kterou lze dále pracovat v rámci projektu, nebo provést export hodnot. Znázorněno na *Obrázku 13*.



Obrázek 12 Základní zobrazení lineární přímky

Statistics on Linear Regression				
Variable	Coeff.	Std. Err.	t-value	P> t
Teplota (°C)	-4,8867	0,2771	-17,6361	0.0
Intercept	110,7632	3,5352	31,3318	0.0
Multiple R-Squared: 0,8163				
Adjusted R-Squared: 0,8137				

*Obrázek 13 Koeficienty a statistika lineárního modelu*

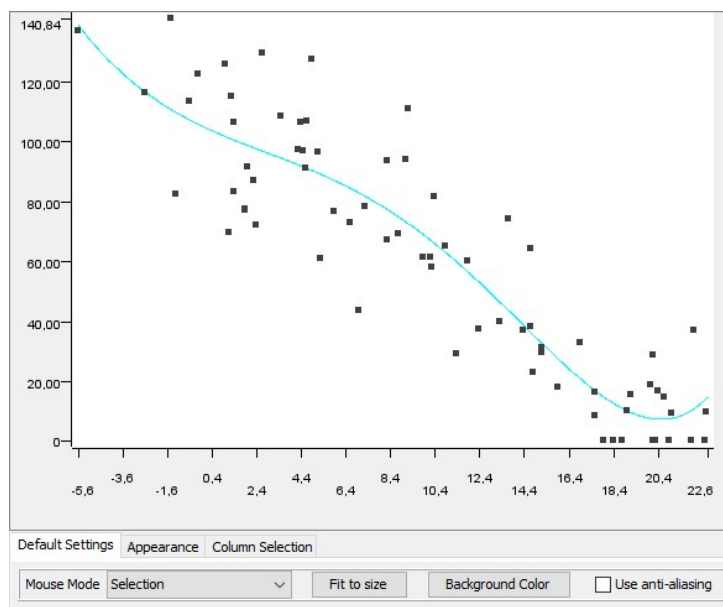
Dalším krokem je predikování hodnot dle lineárního modelu na základě vstupních hodnot průměrných teplot roku 2014. Predikované hodnoty jsou dále sloučeny do společné tabulky se skutečnými hodnotami. Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.2.2 z hodnocení byly vynechány měsíce letních prázdnin ve kterých výroba pracuje v nestandardním režimu. Zhodnocení modelu je provedeno pomocí nástroje pro statistické hodnocení. Výstupem jsou následující statistické ukazatele:

*Tabulka 2 Statistické charakteristiky predikovaných hodnot lineární regrese*

Koeficient determinance ( $R^2$ )	0,701
Střední kvadratická chyba	16,949
Střední absolutní chyba	411,622
Standardní chyba odhadu	20,288
Střední odchylka	-15,286
Průměrná relativní chyba (-)	0,186

### **Polynomická regrese**

Obdobně jako lineární regrese je provedena polynomická regrese. Nástroj vytvářející polynomický model 5. stupně je propojen se vstupními boxy. Prvním výstupem je model určený k propojení s nástrojem pro predikci a základní grafické zobrazení nalezené křivky uvedené na *Obrázku 14*.



Obrázek 14 Základní zobrazení křivky

Druhým výstupem je tabulka vstupních dat s predikovanými daty a jejich absolutní chybou vůči skutečným hodnotám. Třetím výstupem jsou regresní koeficienty společně s tabulkou se statistikou znázorněno na *Obrázku 15*.

Statistics on Polynomial Regression				
Variable	Coeff.	Std. Err.	t-value	P> t
Teplota (°C)	-3,5439	1,8387	-1,9274	0,0582
Teplota (°C) <sup>2</sup>	0,2629	0,2671	0,9845	0,3285
Teplota (°C) <sup>3</sup>	-0,0326	0,0569	-0,573	0,5686
Teplota (°C) <sup>4</sup>	0,0002	0,0042	0,0458	0,9636
Teplota (°C) <sup>5</sup>	3,09E-5	9,34E-5	0,3308	0,7419
Intercept	105,1023	5,1677	20,3383	0.0
Multiple R-Squared: 281,0166				
Adjusted R-Squared: 0,8215				

Obrázek 15 Koeficienty a statistika polynomickeho modelu

Shodně s lineárním modelem je provedena predikce i hodnocení dosažených predikovaných hodnot pomocí nástroje pro statistické hodnocení.

*Tabulka 3 Statistické charakteristiky predikovaných hodnot polynomicke regrese*

Koeficient determinance ( $R^2$ )	0,739
Střední kvadratická chyba	15,749
Střední absolutní chyba	360,447
Standardní chyba odhadu	18,985
Střední odchylka	-14,662
Průměrná relativní chyba (-)	0,184

### **Predikované hodnoty KNIME a PYTHON**

Z projektu KNIME zpracovávající lineární a polynomickou regresi byla vyexportována výsledná data, která byla společně s daty modelů zpracovaných ve zdrojovém kódu Python uvedena v následující tabulce. Hodnoty jsou pro přehlednost v *Tabulka 4* zaokrouhlené na jedno desetinné místo. Dosažené výsledné hodnoty v obou programech jsou shodné.

*Tabulka 4 Porovnání predikovaných hodnot roku 2014 KNIME a Python*

Měsíc	Vyrobená elektrická energie (MWh)	Polynomický model		Lineární model	
		Predikce Python (MWh)	Predikce KNIME (MWh)	Predikce Python (MWh)	Predikce KNIME (MWh)
1.	121,5	102,1	102,1	106,4	106,4
2.	120,6	96,8	96,8	97,6	97,6
3.	94,5	80,9	80,9	74,1	74,1
4.	64,6	63,5	63,5	58	58
5.	38,9	44,4	44,4	44,3	44,3
6.	27,7	15,7	15,7	23,8	23,8
7.	0	-	-	-	-
8.	19,1	-	-	-	-
9.	35	34,9	34,9	38	38
10.	86,6	64,8	64,8	59	59
11.	110,4	83	83	76,6	76,6
12.	131,6	98,8	24,9	101	23,3

## 6. MODEL ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

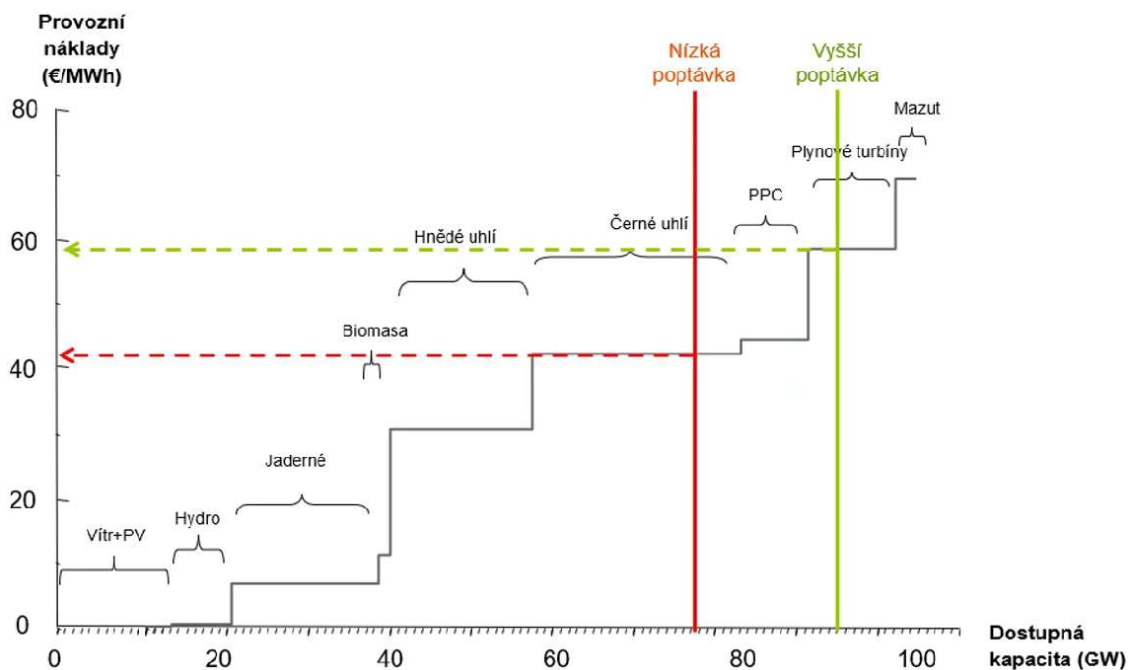
V této kapitole je popsán základní model elektrizační soustavy, který byl zpracován jako návrh nástroje umožňujícího monitoring elektroenergetického trhu s ohledem na KVET.

### 6.1 Možnosti využití

Model lze využít k hodnocení (vývoje) trhu, analýzám a tvorbě stanovisek. Na základě poptávky a nabídky v každé hodině je za uvažované období vytvořena tzv. nákladová křivka výroby elektřiny (merit order), jejíž princip je ilustrativně znázorněn na *Obrázku 16*. Navrhovaný model lze například využít pro predikci, hodnocení ceny elektřiny pro ideální trh na základě předpokládaných faktorů.

Faktory nejvíce ovlivňující nákladovou křivku:

- Poptávka
- Výroba obnovitelných zdrojů
- Cena emisní povolenky
- Cena paliva (uhlí, plyn)



Obrázek 16 Ilustrativní nákladová křivka [30]

## 6.2 Princip

Model pracuje se zadanými hodnotami instalovaného výkonu jednotlivých elektráren, přesněji se zadanou dostupnou výkonovou kapacitou, elektrárny často nepracují na 100 % jmenovitého výkonu a nabízenou cenou každé elektrárny. Na základě poptávky (spotřeby elektřiny) a výroby OZE jsou jednotlivé dostupné elektrárny seřazeny podle nabízené ceny od nejnižší po nejvyšší. Výsledná cena v každé hodině je určena nabízenou cenou poslední (nejdražší) elektrárny potřebné k pokrytí spotřeby.

## 6.3 Data

### 6.3.1 Elektrizační soustava

Zdrojem dat k uvažované elektrizační soustavě je ENTSO-E Transparency Platform, která zajišťuje sběr a zveřejňování údajů o výrobě a spotřebě pro celoevropský trh [28]. Použita byla následující data České republiky za rok 2020 [28]:

- a) Instalovaný výkon dle jednotlivých elektráren
- b) Skutečná výroba podle typu elektrárny
- c) Skutečná celková spotřeba

### 6.3.2 Uvažované elektrárny

V navrhovaném modelu jsou uvažovány následující elektrárny:

- a) FVE
- b) VTE
- c) Elektrárny s instalovaným výkonem nad 100 MW sledovaných ENTSO-E

Veškeré údaje jednotlivých elektráren jako je instalovaný výkon, odhadovaná účinnost, spark/dark spread, clean spark/dark spread a nabízená cena jsou uvedené v *Tabulka 6* v Příloze B. Agregované údaje elektráren jsou uvedené v *Tabulka 5*.

### 6.3.3 Stanovení závěrečné ceny

Při určení závěrečné ceny bylo u každé elektrárny kromě OZE a jaderných elektráren vycházeno z následujících zjednodušujících předpokladů:

- a) Cena emisní povolenky je pro všechny elektrárny vypouštějící CO<sub>2</sub> 40 €/t CO<sub>2</sub>
- b) Cena uhlí (včetně dopravy a dalších nákladů) je 2 €/MW
- c) Cena zemního plynu je 15 €/MW
- d) Cena elektřiny pro výpočet Spark a Dark spreadu je 50 €/MW

U jaderných elektráren byla závěrečná cena stanovena 2 €/MW. Položka provozních nákladů na MW je odvod na jaderný účet, který činí 50 Kč/MW. Uvažované OZE v modelu nabízí za 0 €/MW, zpravidla nemají náklady na palivo. Pro uhelné a paroplynové elektrárny byly provedeny následující výpočty dle postupu a vzorců poskytnutých ERÚ.

Dark spread je teoretický ukazatel ziskovosti uhelných elektráren, odpovídá rozdílu ceny uhlí a ceny elektřiny vyrobené z tohoto paliva.

$$DS = N_E \cdot \frac{N_U}{\eta_{EL}}, \quad (6.1)$$

kde  $DS$  je Dark spread (€/MW),  $N_E$  je cena elektřiny (€/MW),  $N_U$  je cena uhlí (€/MW) a  $\eta_{EL}$  je účinnost elektrárny (-).

Clean dark spread je teoretický ukazatel ziskovosti uhelných elektráren započítávající cenu emisní povolenky, vypočítaný podle:

$$CDS = DS - N_{EP} \cdot \frac{97,81}{1000} \cdot \frac{3,6}{\eta_{EL}}, \quad (6.2)$$

kde  $CDS$  je Clean dark spread (€/MW),  $DS$  je Dark spread (€/MW),  $N_{EP}$  je cena emisní povolenky (€/t CO<sub>2</sub>) a  $\eta_{EL}$  je účinnost elektrárny (-).

Nabízená (minimální) cena elektrárny se spočítá:

$$N_{NAB} = N_E - CDS, \quad (6.3)$$

kde  $N_{NAB}$  je nabízená cena elektrárny (€/MW),  $CDS$  je Clean dark spread (€/MW) a  $N_E$  je cena elektřiny (€/MW).

Spark spread je teoretický ukazatel ziskovosti plynových elektráren, odpovídá rozdílu ceny plynu a ceny elektřiny vyrobené z tohoto paliva:

$$SS = N_E \cdot \frac{N_{PL}}{\eta_{EL}}, \quad (6.4)$$

kde  $SS$  je Spark spread (€/MW),  $N_E$  je cena elektřiny (€/MW),  $N_{PL}$  je cena plynu (€/MW) a  $\eta_{EL}$  je účinnost elektrárny (-).

Clean spark spread je teoretický ukazatel ziskovosti plynových elektráren započítávající cenu emisní povolenky, vypočítaný podle:

$$CSS = SS - N_{EP} \cdot \frac{55,44}{1000} \cdot \frac{3,6}{\eta_{EL}}, \quad (6.5)$$

kde  $CSS$  je Clean spark dark spread (€/MW),  $SS$  je Spark spread (€/MW),  $N_{EP}$  je cena emisní povolenky (€/t CO<sub>2</sub>) a  $\eta_{EL}$  je účinnost elektrárny (-).

Nabízená (minimální) cena elektrárny se spočítá:

$$N_{NAB} = N_E - CSS, \quad (6.6)$$

$$N_{NAB} = N_E - CDS, \quad (6.7)$$

kde  $N_{NAB}$  je nabízená cena elektrárny (€/MW),  $CSS$  je Clean spark spread (€/MW),  $CDS$  je Clean dark spread (€/MW) a  $N_E$  je cena elektřiny (€/MW).



Tabulka 5 Instalovaný výkon a průměrná závěrečná cena jednotlivých typů elektráren

Typ elektráren	Dostupný výkon (MW)	Průměrná závěrečná cena (€/MW)
FVE	2061	0
VTE	339	0
Jaderné	3936	2
Hnědouhelné	6812	38,55
Černouhelné	922	39,79
Paroplynové	847	40,32
Ostatní	149	40,3

## 6.4 Výpočetní kód

Výpočetní kód byl zpracován v jazyku Python s použitím knihovny Python for Power System Analysis (PyPSA). PyPSA je bezplatná knihovna určená pro simulace a optimalizaci energetických soustav. Jedná se o projekt zastřešovaný ústavem pro automatizaci a aplikovanou informatiku na Technické Universitě v Karlsruhe [31]. Ve zdrojovém kódu byly použity i knihovny zmíněné v kapitole 5.1.1. Kompletní zdrojový kód je uveden v Příloze C.

### 6.4.1 Závěrečné ceny a skladba zdrojů

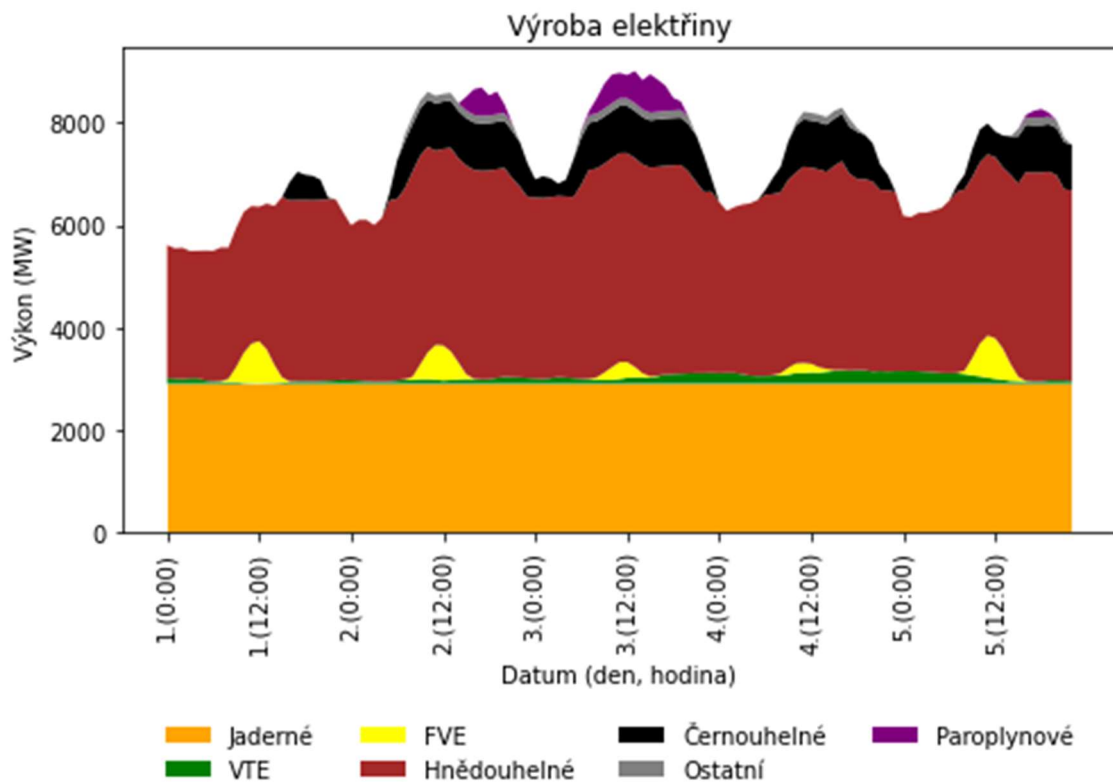
Data spotřeby, výroby OZE a vypočtených nabízených cen jsou načítána ze souborů excel. Díky možnosti načítání dat z externích souborů lze snadno měnit a upravovat vstupní faktory jednotlivých elektráren jako je cena paliva, cena emisní povolenky a zpřesňovat účinnost beze změn ve zdrojovém kódu. Dostupný výkon jednotlivých elektráren již je přednastaven ve zdrojovém kódu. Dále je nyní nastavena délka zkoumaného období 744 hodin, tj. 31 dnů.

Celkové shrnutí závěrečných cen a skladby zdrojů je uloženo do datové struktury DataFrame: „df\_vysledek“. V této datové struktuře jsou uvedena sumární data dle typů elektráren, která jsou exportována do excelovského souboru: „Výsledná data“, umístěného do složky se zdrojovým kódem. Z výsledných hodnot jsou dále vytvořeny grafy znázorňující podíl jednotlivých zdrojů a vývoj závěrečných cen za celé sledované období, jeden a pět dnů.

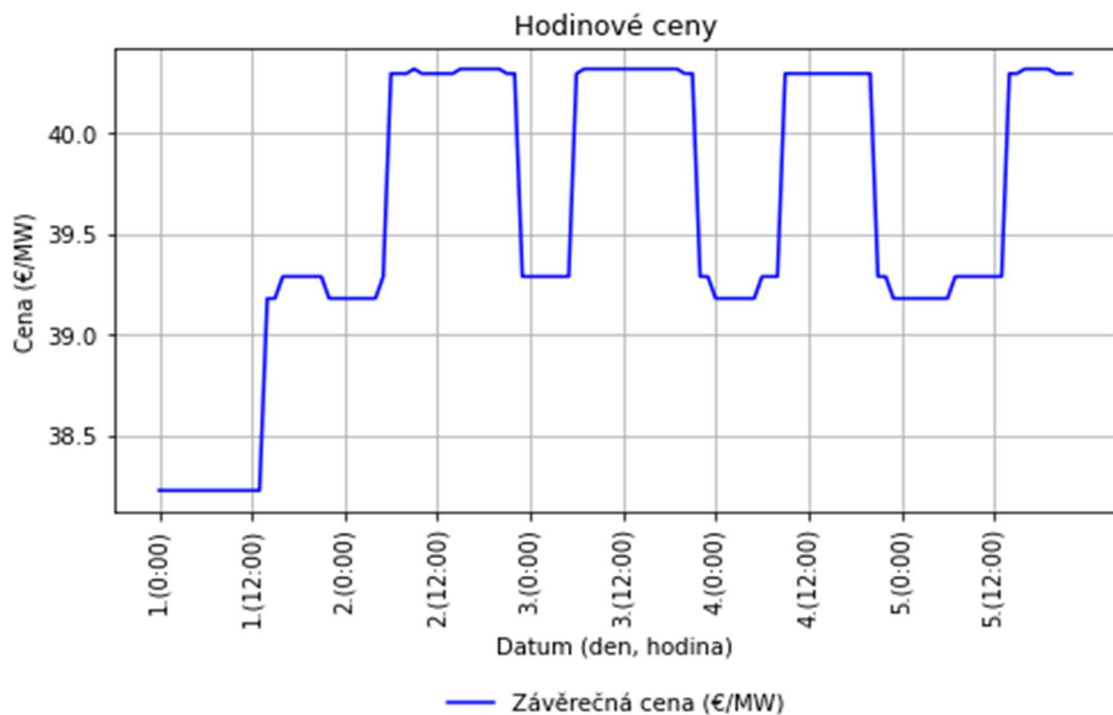
## 6.5 Příklad výsledků

Pro demonstraci dosažených výsledků jsou použita data skutečné netto spotřeby elektřiny a netto výroby OZE v České republice v lednu roku 2020. Dostupný výkon jaderných elektráren je v uvažovaném modelu zvolen 2 908 MW. Na základě parametrů jednotlivých elektráren je proveden výpočet podílu zdrojů, potřebných na pokrytí spotřeby a závěrečných cen pro uvažované období. Výsledné grafické znázornění podílu

jednotlivých zdrojů vybraného období 1. 1. až 5. 1. 2020 je na *Obrázku 17* a vývoj závěrečných cen ve sledovaném období je na *Obrázku 18*.



*Obrázek 17 Podíl typů zdrojů 1. až 5. ledna 2020 dle modelu*



*Obrázek 18 Vývoj závěrečných cen 1. až 5. ledna 2020 dle modelu*

### 6.5.1 Zhodnocení

Demonstrované výsledky nelze nyní porovnávat se skutečným podílem zdrojů a hodinovými cenami. Vstupující faktory při výpočtech závěrečných cen jsou odhadnuté, uvažovány jsou především elektrárny s instalovaným výkonem nad 100 MW sledované platformou ENTSO-E. Uvažované elektrárny tvoří 73 % z celkového instalovaného výkonu elektráren v ČR, který byl podle ENTSO-E v daném období 20 576 MW.

Srovnání výsledků lze provést v případě zpracování skutečných vstupujících faktorů pro jednotlivé elektrárny. Některé má ERÚ možnost získat například ze statistického výkazu ERÚ-E1 popsaného v kapitole 3.2. V případě KVET, kdy teplárenství je regulovanou oblastí, zná ERÚ ekonomicky oprávněné náklady, do kterých patří náklady na paliva a také na emisní povolenky.

## 7. ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá problematikou statistického výkaznictví ERÚ. Nejprve je stručně popsána činnost, kompetence a povinnosti ERÚ na základě legislativy. Dále je popsán obsah zveřejňovaných čtvrtletních a ročních zpráv o provozu elektrizační soustavy ČR. Ve zprávách jsou za sledované období uvedena technická data o bilanci, výrobě a spotřebě. Jednotlivá data jsou ve zprávách přehledně prezentována pomocí tabulek a grafů. Výroba elektrické energie je podrobněji rozdělena podle typu elektráren, dále je výroba sledována i podle jednotlivých krajů ČR. Spotřeba elektrické energie je podrobněji sledována a rozdělena podle kategorie spotřeb, sektorů hospodářství, krajů a podle jednotlivých soustav RDS. Dále jsou v každém měsíci sledovány dny maximálního a minimálního zatížení ES ČR. Roční zprávy pak tvoří souhrn dat za sledovaný rok. Obsahují podrobnější informace oproti čtvrtletním zprávám. Navíc jsou prezentována data vývoje za posledních 10 let a meziročních změn. Zpráva je pak doplněna i tarifní statistikou, vývojem kvality dodávek elektřiny, statistikou odběrných míst, a dalších vybraných technických údajů.

Navazující kapitola popisuje výpočetní kód zpracovávající statistické výkazy. Navržený výpočetní kód je zpracovaný v jazyce Python, zaměřený na zpracovávání výkazů ERÚ-E1 popsaných v kapitole 3.2. Ve výpočetním kódu je integrovaná lineární a polynommická regrese, které lze využít k predikování budoucích hodnot brutto výroby elektřiny posuzovaného zdroje na základě průměrných měsíčních teplot. Výpočetní kód také obsahuje výpočet hodnot úspor primární energie v jednotlivých měsících. Ze sledovaných dat statistického výkazu ERÚ-E1 je vytvořena vizuální interpretace. Navrhovaný výpočetní kód lze implementovat do vytvářeného komplexního systému a nabídnout tak uživatelské prostředí, které by poskytovalo přehledná data o výrobně, základní odhady výroby v následujících obdobích.

Předpokládá se, že správa a vykazování dat v novém systému bude pracovat na základě analytické platformy KNIME, které se věnuje následující část práce. V kapitole 5.3 je popsáno uživatelské prostředí a princip činnosti platformy. S ohledem na zpracovaný výpočetní kód je uveden návod na instalaci rozšíření pro Python a implementace zdrojového kódu. Zdrojový kód byl použit pro načtení dat, na základě kterých byly provedeny lineární a polynommické regrese, obdobně jako ve zdrojovém kódu Python. V obou případech bylo dosaženo shodných výsledků, dílčí hodnocení je provedeno v kapitole 5.3.7.

V jazyce Python je v závěrečné kapitole navrhnut model, který v uvažované elektrizační soustavě dle nabídky, poptávky a dalších vstupních faktorů dílčích elektráren stanoví závěrečné ceny elektřiny a podíly typů zdrojů. V současném návrhu jsou uvažovány některé zjednodušující předpoklady uvedené v kapitole 6.3.3 a také se při výpočtu minimálních nabízených cen jednotlivých elektráren uvažují pouze předpokládané hodnoty účinností elektráren. Uvedená zjednodušení nemají vliv na

správnou činnost. Na základě statistických výkazů ERÚ-E1 a dalšího neveřejného sběru dat, má ERÚ možnost předpokládané údaje nahradit a navrhovaný model použít například k monitoringu trhu. Návrhem pro další zpřesnění dosažených výsledků je rozšíření zdrojového kódu o výpočet uvažující další obchodní zóny, sousedních zemí. Elektrárny v ČR nabízejí svůj výkon do zahraničí i elektrárny ze zahraničí nabízejí na trh v ČR vždy až do výše přeshraničních kapacit. Uvedené rozšíření by velmi přispělo ke zpřesňování výsledků.

## LITERATURA

- [1] KUSÝ, Petr. *Systém pro zpracování, analýzu a vyhodnocení statistických dat ERÚ* [online]. Vyd. 9. dubna 2019 [cit. 2021-1-23]. Dostupné z: [https://www.tacr.cz/dokums\\_raw/beta2/Prezentace\\_resortu\\_ERU.pdf](https://www.tacr.cz/dokums_raw/beta2/Prezentace_resortu_ERU.pdf)
- [2] TA ČR Starfos, *Systém pro zpracování, analýzu a vyhodnocení statistických dat ERÚ (fáze II.)* [online]. [cit. 2021-1-23]. Dostupné z: <https://starfos.tacr.cz/cs/project/TITIERU914IP01#project-main>
- [3] Energetický regulační úřad. *O úřadu* [online]. c 2014-2020 [cit. 2020-10-24]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/o-uradu>
- [4] Energetický regulační úřad. *Zprávy o provozu elektrizační soustavy* [online]. c 2014-2020 [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy>
- [5] Eurostat. *Who we are* [online]. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/about/who-we-are>
- [6] ESS partnership. *List of National statistical institutes (NSI) and other national authorities* [online]. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/documents/747709/753176/20190607\\_List\\_other\\_national\\_statistical\\_authorities\\_IT.pdf/f3c3bddf-c378-4203-92a2-48d0dd789f3d](https://ec.europa.eu/eurostat/documents/747709/753176/20190607_List_other_national_statistical_authorities_IT.pdf/f3c3bddf-c378-4203-92a2-48d0dd789f3d)
- [7] Eurostat. *Electricity and heat statistics* [online]. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_and\\_heat\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_and_heat_statistics)
- [8] Eurostat. *Electricity generation statistics – first results* [online]. [2020-11-17]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_generation\\_statistics\\_%E2%80%93\\_first\\_results](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_generation_statistics_%E2%80%93_first_results)
- [9] Eurostat. *Electricity market indicators* [online]. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_market\\_indicators](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_market_indicators)
- [10] Eurostat. *Electricity price statistics* [online]. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics)
- [11] Eurostat. *Electricity production, consumption and market overview* [online]. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_production\\_consumption\\_and\\_market\\_overview](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_production_consumption_and_market_overview)
- [12] Výkladové stanovisko ERÚ 8/2018. *Výkladové stanovisko k metodice vyplňování výkazů 8/2018 pro oblast elektroenergetiky a teplárenství* [online]. [cit. 2020-12-3]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/3687211/Vykkladove+stanovisko\\_ERU\\_8\\_2018.pdf/91a9c5ec-a0bd-48bf-a9a1-9da63c6a7ec9](http://www.eru.cz/documents/10540/3687211/Vykkladove+stanovisko_ERU_8_2018.pdf/91a9c5ec-a0bd-48bf-a9a1-9da63c6a7ec9)

- [13] Energetický regulační úřad. *Statistika a sledování kvality, vykazování* [online]. c 2014-2020 [cit. 2020-12-6]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/vykazovani>
- [14] KLÍMEK, Petr a Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. *Aplikovaná statistika: přednášky*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008. ISBN 978-80-7318-671-5. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:d78dd6b4-e18f-40de-af3b-4371c83da704>
- [15] EGERMAYER, František a Milan BOHÁČ. *Statistika pro techniky*. Praha: SNTL, 1984. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:97bee000-20d1-11e4-8c14-5ef3fe9bb22f>
- [16] MINAŘÍK, Bohumil a Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. *Statistika I: popisná statistika, Část 1*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000. ISBN 978-80-7157-928-1. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:ed4f7d70-08fb-11e3-9584-001018b5eb5c>
- [17] HENDL, Jan. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. Praha: Portál, 2009. ISBN 978-80-7367-482-3. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:c21e6280-39d4-11e6-a5c5-005056827e51>
- [18] [16] B. Fajmon, I. Hlavičková, M. Novák: *Matematika 3*. Skriptum FEKT, Brno 2017.
- [19] SUMMERFIELD, Mark. *Python 3: výukový kurz*. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-2737-7.
- [20] [20] Python. *About Python* [online]. c 2001-2021 [2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.python.org/about/>
- [21] Pandas. *Package overview* [online]. c 2008-2021 [2021-5-8]. Dostupné z: [https://pandas.pydata.org/docs/getting\\_started/overview.html](https://pandas.pydata.org/docs/getting_started/overview.html)
- [22] NumPy. *What is NumPy?* [online]. c 2008-2021 [2021-5-8]. Dostupné z: <https://numpy.org/doc/stable/user/whatisnumpy.html>
- [23] Matplotlib. *History* [online]. c 2002-2021 [2021-5-8]. Dostupné z: <https://matplotlib.org/stable/users/history.html>
- [24] Scikit-learn. *Machine learning in Python* [online]. [2021-5-8]. Dostupné z: <https://scikit-learn.org/stable/>
- [25] Český hydrometeorologický ústav. *Územní teploty* [online]. [2021-2-10]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
- [26] KNIME. *Build Data Science Workflows* [online]. [2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.knime.com/knime-analytics-platform>
- [27] KNIME. *Getting Started Guide* [online]. [2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.knime.com/getting-started-guide>
- [28] ENTSO-E. *Transparency Platform* [online]. [2021-5-14]. Dostupné z: <https://transparency.entsoe.eu/dashboard/show>
- [29] MPO: *Metodický postup pro určení úspor primární energie* [online]. [2021-3-20]. <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/26153/63022/650623/priloha013.pdf>

- [30] ŘEŽÁBEK Pavel, *Energetické výhledy* [přednáška], Brno – online: VUT v Brně, 15. března 2021
- [31] Python for Power System Analysis: Examples. *PyPSA* [online]. [2021-5-1].  
<https://pypsa.org/index.html>



## **SEZNAM PŘÍLOH**

<b>PŘÍLOHA A - ZDROJOVÝ KÓD ZPRACOVÁVAJÍCÍ STATISTICKÉ VÝKAZY .....</b>	<b>65</b>
<b>PŘÍLOHA B - UVAŽOVANÉ ELEKTRÁRNY .....</b>	<b>74</b>
<b>PŘÍLOHA C - ZDROJOVÝ KÓD URČENÍ NÁKLADOVÉ KŘIVKY .....</b>	<b>76</b>

## Příloha A - Zdrojový kód zpracovávající statistické výkazy

```
import numpy as np
import pandas as pd
import csv
from matplotlib import pyplot as plt
from os import listdir, path
import xml.etree.ElementTree as ET
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures

mypath = "C:\\ ... \\Zpracování\\ "
files = [path.join(mypath, f) for f in listdir(mypath) if
f.endswith('.xml')]

# Načtení hodnot průměrných měsíčních teplot 2015-2020
soubor = pd.ExcelFile("Průměrné teploty 2015-2020.xlsx")
df1= pd.read_excel(soubor, "List1")

# Načtení hodnot průměrných měsíčních teplot roku 2014
soubor1 = pd.ExcelFile("Průměrné teploty 2014.xlsx")
dftep2014 = pd.read_excel(soubor1, "List1")

# Načtení referenčních hodnot výroby v roce 2014
soubor2 = pd.ExcelFile("Data.xlsx")
dfrefvyroba2014 = pd.read_excel(soubor2, "List1")

# Veličiny do kterých se postupně přiřazují hledané hodnoty hledaných
veličin v jednotlivých měsících
mesice = []
rok = []
Peinst = []
Ptinst = []
palivo = []
brutvyrobek = []
brutvyrobtepl = []

# Cyklus, který přiřazuje data z xml do jednotlivých veličin
for file in files:
    etree = ET.parse(file)
    root = etree.getroot()
    def intr_docs(xml_doc):
        attr = xml_doc.attrib

        for xml in xml_doc.iter('hlav_mesic'):
            doc_dict = attr.copy()
            doc_dict = xml.text
            mesice.append(xml.text)
            yield doc_dict

        for xml in xml_doc.iter('hlav_rok'):
            doc_dict = attr.copy()
            doc_dict = xml.text
            rok.append(xml.text)
            yield doc_dict
```

```

for xml in xml_doc.iter('D14'):
    doc_dict = attr.copy()
    doc_dict = xml.text
    Peinst.append(xml.text)
    yield doc_dict

for xml in xml_doc.iter('E14'):
    doc_dict = attr.copy()
    doc_dict = xml.text
    Ptinst.append(xml.text)
    yield doc_dict

for xml in xml_doc.iter('C20'):
    doc_dict = attr.copy()
    doc_dict = xml.text
    palivo.append(xml.text)
    yield doc_dict

for xml in xml_doc.iter('C44'):
    doc_dict = attr.copy()
    doc_dict = xml.text
    brutvyrobek.append(xml.text)
    yield doc_dict

for xml in xml_doc.iter('C45'):
    doc_dict = attr.copy()
    doc_dict = xml.text
    brutvyrobtep.append(xml.text)
    yield doc_dict

# Hledané hodnoty jsou převedeny do DataFrame
doc_df = pd.DataFrame(list(intr_docs(etree.getroot()))))

# Export jednotlivých hodnot do csv
with open('prac.csv', 'w', newline='') as f:
    #definován 1. řádek tj. názvy sloupců
    fieldnames = ['Mesic', 'Rok', 'Elektricky instalovany vykon
(MWe)', 'Tepelny instalovany vykon (MWt)', 'Celkova spotreba paliva
(MWh)', 'Brutto vyroba elektriny (MWh)', 'Brutto vyroba tepla (GJ)']
    thewriter = csv.DictWriter(f, fieldnames=fieldnames)
    thewriter.writeheader()

    for a,b,c,d,e,g,h in zip (mesice, rok, Peinst, Ptinst, palivo,
brutvyrobek, brutvyrobtep ): #cyklus který pracuje od i,j,k .. a
slučuje(zipuje) jednotlivé itemy, který každé odpovídá písmenku podle
pořadí
        thewriter.writerow({'Mesic': a, 'Rok': b, 'Elektricky
instalovany vykon (MWe)': c, 'Tepelny instalovany vykon (MWt)': d,
'Celkova spotreba paliva (MWh)': e, 'Brutto vyroba elektriny (MWh)':
g, 'Brutto vyroba tepla (GJ)': h})

# Načtení dat z csv souboru
df = pd.read_csv (r'prac.csv')

# Seřazení veličin: od začátku sledovaného období až po "současnost"
df.sort_values(by=['Rok', 'Mesic'], ascending=[True, True], inplace=True)

# Vytvoření sloupečku datum, sloučením měsíce a roku
df['Datum'] = df.apply(lambda x: '%i.%i' %

```

```

(x['Mesic'],x['Rok']),axis=1)

# Reset indexů
df.reset_index(drop=True,inplace=True)

# Přidání průměrných teplot do df
df["Teplota (°C)"] = df1["Teplota"]

# Tisk do konzole pro základní vizualizaci
# print (df)

# Výpočet UPE (Úspory primární energie) - vzoreček
# nq^t = (Množství užitečného tepla z kombinované výroby elektřiny a
tepla MWh / Spotřeba energie v palivu použitém v procesu kombinované
výroby elektřiny a tepla MWh)
# ne^t = (z toho množství elektřiny vyrobené z KVET připadající na
zemní plyn MWh / Spotřeba energie v palivu použitém v procesu
kombinované výroby elektřiny a tepla MWh)
# nr^v = 0,9
# nr^e = 0,0,525
# UPE = (1-(1/(nq^t/nr^v)+(ne^t/nr^e)))*100

df["UPE"] = (1-(1/(((df["Brutto vyroba tepla (GJ)"]/3.6) / df["Celkova
spotreba paliva (MWh)"])/0.9 +(df["Brutto vyroba elektriny (MWh)"] /
df["Celkova spotreba paliva (MWh)"])/0.525))))*100

# Rozdělení celkového df na DataFrames jednotlivých let
df2015 = df.iloc[0:12]
df2016 = df.iloc[12:24]
df2017 = df.iloc[24:36]
df2018 = df.iloc[36:48]
df2019 = df.iloc[48:60]
df2020 = df.iloc[60:72]

# Načtení jednotlivých veličin
datum = df['Datum']
mesicee = df['Mesic']
Teplota = df['Teplota (°C)']
Spotreba = df['Celkova spotreba paliva (MWh)']
Vyrobael = df['Brutto vyroba elektriny (MWh)']
Vyrobatep = df['Brutto vyroba tepla (GJ)']
UPE = df["UPE"]

datum2019 = df2019['Datum']
mesic2019 = df2019['Mesic']
Teplota2019 = df2019['Teplota (°C)']
Spotreba2019 = df2019['Celkova spotreba paliva (MWh)']
Vyrobael2019 = df2019['Brutto vyroba elektriny (MWh)']
Vyrobatep2019 = df2019['Brutto vyroba tepla (GJ)']

datum2020 = df2020['Datum']
mesic2020 = df2020['Mesic']
Teplota2020 = df2020['Teplota (°C)']
Spotreba2020 = df2020['Celkova spotreba paliva (MWh)']
Vyrobael2020 = df2020['Brutto vyroba elektriny (MWh)']
Vyrobatep2020 = df2020['Brutto vyroba tepla (GJ)']
Teplota2014 = df2014['Teplota']

cm = 1/2.54

```

```

plt.figure(1,figsize=(20*cm,10*cm))
plt.plot(datum, Vyrobael, color='red', label='Brutto výroba
elektřiny')
plt.xlabel('Datum (měsíc, rok)')
plt.ylabel('Brutto výroba elektřiny (MWh)')
plt.title('Brutto výroba elektřiny za sledované období 2015 - 2020')
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.25),
frameon=False)
plt.grid(True)
plt.xticks(datum[:,6], rotation='vertical')
# plt.savefig('Graf 1.png', bbox_inches="tight")

plt.figure(2)
plt.subplots(figsize=(20*cm,10*cm))
plt.plot(mesic2019, Vyrobael2019, color='red', label='Brutto výroba
elektřiny 2019')
plt.plot(mesic2020, Vyrobael2020, color='blue', label='Brutto výroba
elektřiny 2020')
plt.xlabel('Měsíc')
plt.ylabel('Brutto výroba elektřiny (MWh)')
plt.title('Brutto výroba elektřiny za sledované období 2019 a 2020')
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.15),
frameon=False, ncol=2)
plt.grid(True) #vedlejší mřížka
plt.xticks(mesic2019)
# plt.savefig('Graf 2.png', bbox_inches="tight")

UPE2020 = df2020['UPE']
plt.figure(3)
plt.subplots(figsize=(20*cm,10*cm))
plt.scatter(datum, UPE, marker='x', color='red', label='UPE')
plt.xlabel('Datum (měsíc, rok)')
plt.ylabel('Úspora primární energie (-)')
plt.title('Vývoj ukazatele UPE za sledované období')
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.25),
frameon=False, ncol=1)
plt.grid(True)
plt.xticks(datum[:,6], rotation='vertical')
# plt.savefig('Graf 3.png', bbox_inches="tight")

df2020.reset_index(drop=True,inplace=True)
df2019.reset_index(drop=True,inplace=True)
df2020["Brutto vyroba elektriny 2019 (MWh)"] = df2019["Brutto vyroba
elektriny (MWh)"]
df2020["Teplota 2019 (°C)"] = df2019["Teplota (°C)"]
df2020['Mezirocní zmena výroby elektriny (%)'] = ((df2020['Brutto
vyroba elektriny (MWh)']-df2020['Brutto vyroba elektriny 2019
(MWh)'])/df2020['Brutto vyroba elektriny 2019 (MWh)'])*100
df2020['Mezirocní zmena teploty (%)'] = ((df2020['Teplota (°C)']-
df2020['Teplota 2019 (°C)'])/df2020['Teplota 2019 (°C)'])*100
Mezirocní_zmena_20 = df2020['Mezirocní zmena výroby elektriny (%)']
Mezirocní_zmenatep_20 = df2020['Mezirocní zmena teploty (%)']

width = 0.35 # šířka sloupců
plt.figure(10,figsize=(20*cm,10*cm))
plt.bar(mesic2020, Mezirocní_zmena_20, width, color='blue',
label='Meziroční změna výroby elektřiny')
plt.ylabel('Meziroční změna (%)')
plt.xlabel('Měsíc')

```

```

plt.title('Meziroční změna brutto výroby elektřiny a teploty
2019/2020')
plt.xticks(mesic2020[:,1])
plt.grid(True)
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.12),
frameon=False, ncol=1)
# plt.savefig('Graf 4.png', bbox_inches="tight")

df_rok2014 = pd.DataFrame()
df_rok2014['Měsíc'] = dftep2014['Měsíc']
df_rok2014['Teplota'] = dftep2014['Teplota']
df_rok2014['Vyrobená elektrická energie (MWh)'] =
dfrefvyroba2014['Vyrobená elektrická energie (MWh)']

# Seřazení dle teploty
df.sort_values(by='Teplota (°C)', inplace=True)

# Znovu načtení jednotlivých veličin
datum = df['Datum']
mesicee = df['Mesic']
Teplota = df['Teplota (°C)']
Spotreba = df['Celkova spotreba paliva (MWh)']
Vyrobael = df['Brutto vyroba elektriny (MWh)']
Vyrobatep = df['Brutto vyroba tepla (GJ)']

# Poly-model
polynomial_ft = PolynomialFeatures(degree = 5)
tep = np.array(Teplota).reshape((-1, 1))

# Vytvoří z NAN 0
df.fillna(0, inplace=True)

X_polynomial = polynomial_ft.fit_transform(tep)
polynomial_reg_model = LinearRegression()
polynomial_reg_model.fit(X_polynomial, Vyrobael)
# print(polynomial_reg_model.coef_)

plt.figure(5,figsize=(20*cm,10*cm))
plt.scatter(tep, Vyrobael, marker = 'x', color = 'blue', label='Brutto
výroba elektriny')
plt.plot(tep,polynomial_reg_model.predict(polynomial_ft.fit_transform(
tep)),color = 'green', label='Polynomická funkce pátého řádu')
plt.xlabel('Průměrná teplota (°C)')
plt.ylabel('Brutto výroba elektřiny (MWh)')
plt.title('Závislost brutto výroby elektřiny na teplotě')
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.15),
frameon=False, ncol=2)
plt.grid(True)
# plt.savefig('Graf 5.png', bbox_inches="tight")

# Predikce výroby podle zadané teploty
tep2014 = np.array(Teplota2014).reshape((-1, 1))
Predpoved2014_pol =
polynomial_reg_model.predict(polynomial_ft.fit_transform(tep2014))

df_rok2014["Předpověď el pol (MWh)"]=Predpoved2014_pol

#Lineární-model
polynomial_ft_1 = PolynomialFeatures(degree = 1)

```

```

X_polynomial_1 = polynomial_ft_1.fit_transform(tep)

polynomial_reg_model_1 = LinearRegression()
polynomial_reg_model_1.fit(X_polynomial_1, Vyrobael)
# print(polynomial_reg_model_1.coef_)
# print(polynomial_reg_model_1.intercept_)

plt.figure(7,figsize=(20*cm,10*cm))
plt.scatter(tep, Vyrobael, marker = 'x', color = 'blue', label='Brutto
výroba elektřiny')
plt.plot(tep,polynomial_reg_model_1.predict(polynomial_ft_1.fit_transf
orm(tep)),color = 'green', label='Lineární funkce')
plt.xlabel('Průměrná teplota (°C)')
plt.ylabel('Brutto výroba elektřiny (MWh)')
plt.title('Závislost brutto výroby elektřiny na teplotě')
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.15),
frameon=False, ncol=2)
plt.grid(True)
# plt.savefig('Graf 7.png',bbox_inches="tight")

# Predikce výroby podle zadané teploty
Predpoved2014_lin =
polynomial_reg_model_1.predict(polynomial_ft_1.fit_transform(tep2014))

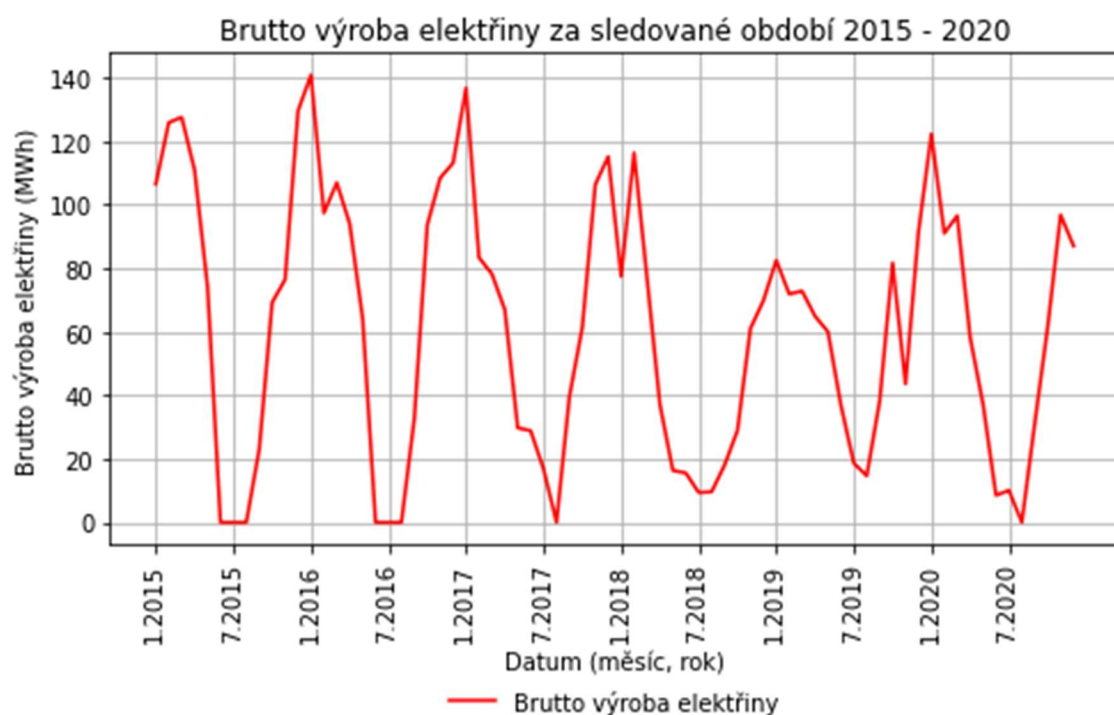
df_rok2014["Předpověď el lin (MWh)"]=Predpoved2014_lin

Vyroba2014 = df_rok2014["Vyrobená elektrická energie (MWh)"]
Predpovedel2014_linn = df_rok2014['Předpověď el lin (MWh)']
Predpovedel2014_poll = df_rok2014['Předpověď el pol (MWh)']
Měsíc2014 = df_rok2014['Měsíc']

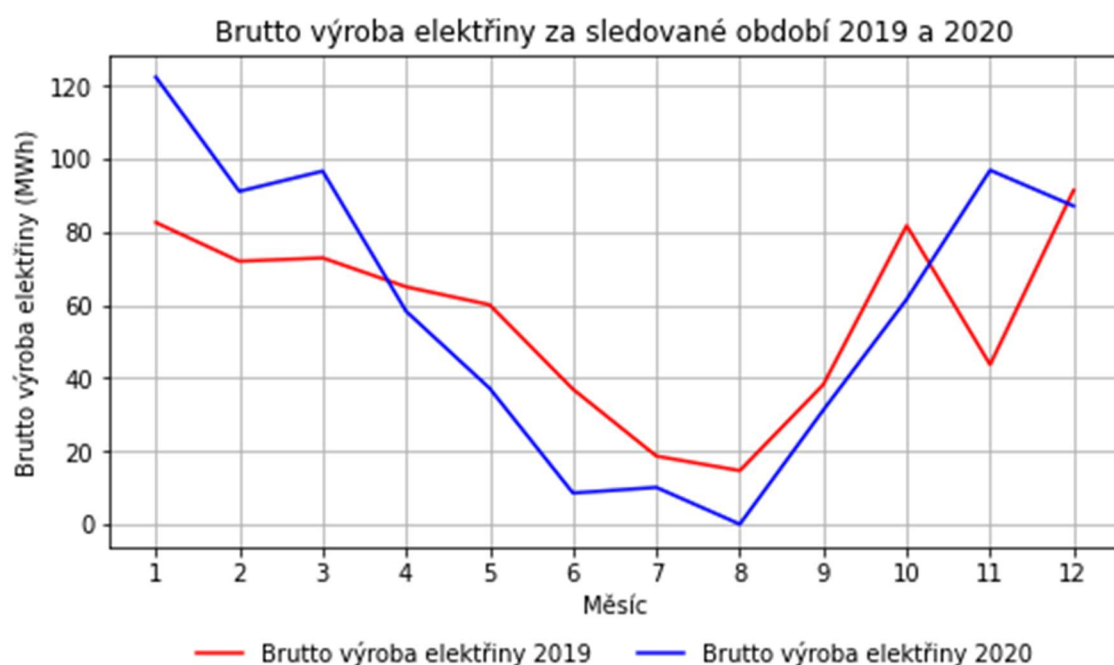
fig8, ax1 = plt.subplots(figsize=(20*cm,10*cm))
ax1.plot(Měsíc2014, Vyroba2014, color = 'green', linestyle = '-.',
label='Skutečná brutto výroba elektřiny 2014')
ax1.plot(Měsíc2014, Predpovedel2014_linn, color = 'blue',
label='Predikce lineárního modelu')
ax1.plot(Měsíc2014, Predpovedel2014_poll, color = 'red',
label='Predikce poly modelu')
ax1.set_xlabel('Měsíc')
ax1.set_ylabel('Brutto výroba elektřiny (MWh)')
plt.title('Brutto výroba elektřiny v roce 2014')
ax1.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.15),
frameon=False, ncol=3 ) # bbox_to_anchor=(1.05, 1), loc=2,
borderaxespad=0.
ax1.grid(True)
plt.xticks(mesic2019)
# plt.savefig('Graf 8.png', bbox_inches="tight")

```

## A.1 Vizuální interpretace dat

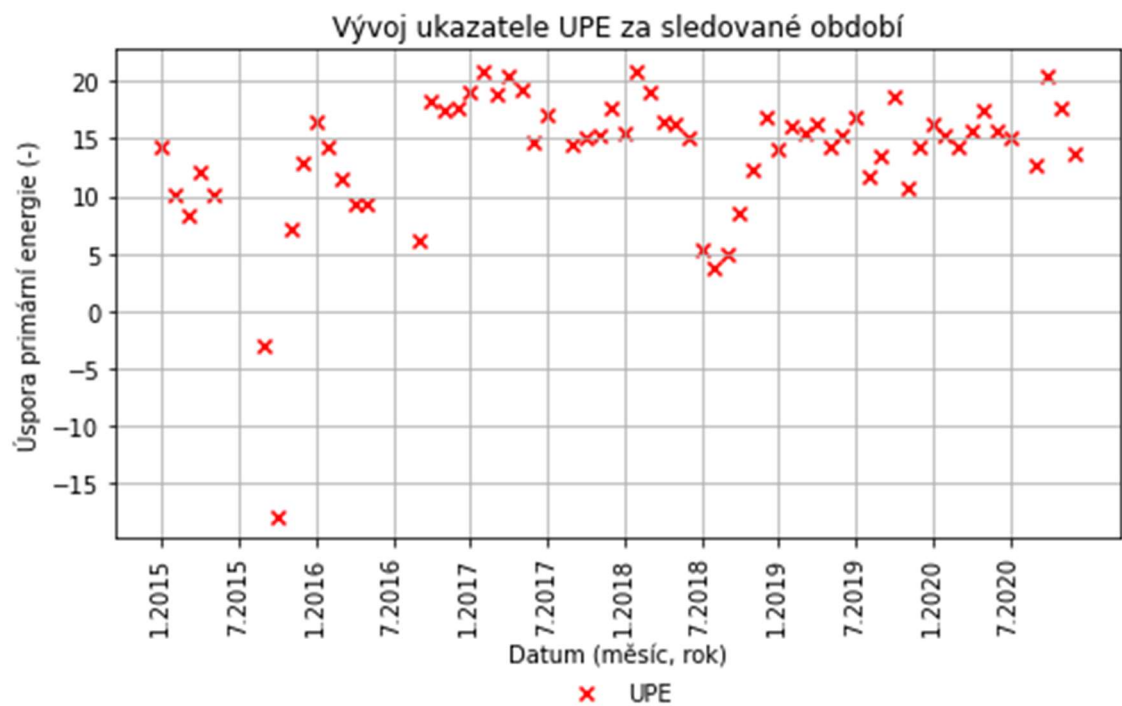


Obrázek 19 Historická brutto výroba elektřiny za sledované období

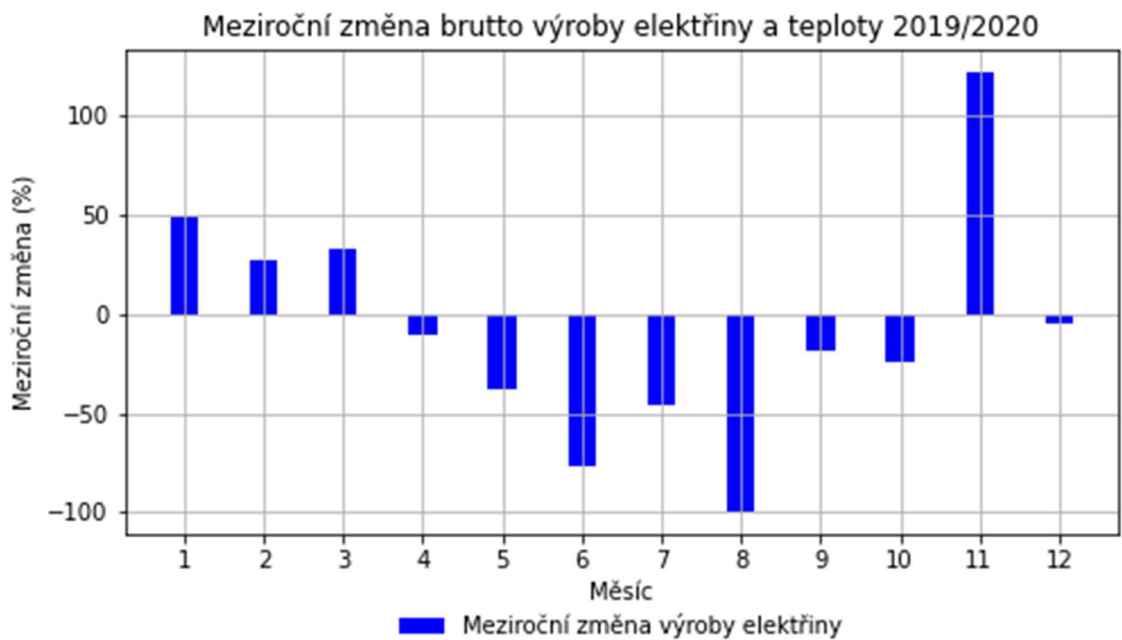


Obrázek 20 Brutto výroba elektřiny za poslední uplynulé roky

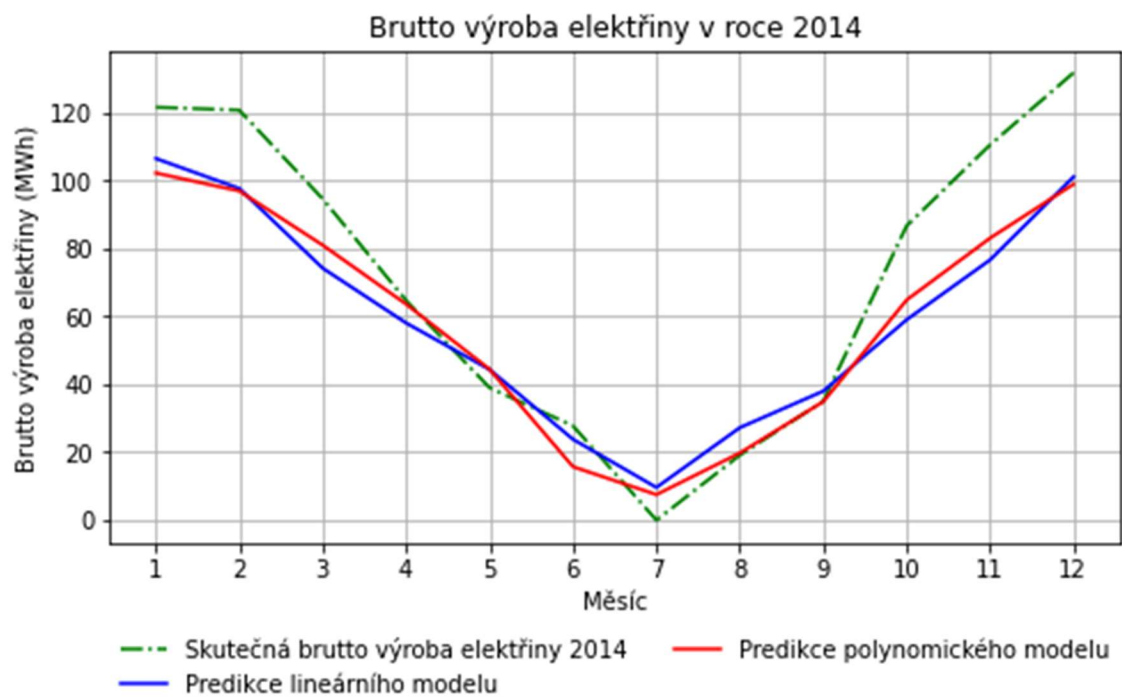




Obrázek 21 Vývoj ukazatele UPE



Obrázek 22 Meziroční změna brutto výroby elektřiny za uplynulé dva roky



Obrázek 23 Predikce brutto výroby elektřiny, porovnání s referenčními hodnotami roku 2014

## Příloha B - Uvažované elektrárny

Tabulka 6 Údaje jednotlivých uvažovaných elektráren

Typ	Název	Instalovaný výkon (MW)	Účinnost elektrárny (%)	Spark spread (€/MW)	Clean Spark spread (€/MW)	Dark spread (€/MW)	Clean Dark spread (€/MW)	Nabízená (Minimální) cena (€/MW)
Jaderná	Temelín	2056	-	-	-	-	-	2
Jaderná	Dukovany	1880	-	-	-	-	-	2
Hnědouhelná	Prunéřov2	1059	32,3	-	-	49,94	6,33	43,67
Hnědouhelná	Počerady	916	32,5	-	-	49,94	6,6	43,4
Paroplynová	Počerady2	847	57	23,68	9,68	-	-	40,32
Hnědouhelná	Chvaletice	767	32	-	-	49,94	5,92	44,08
Černouhelná	Dětmárovice	748	35,9	-	-	49,94	10,71	39,29
Hnědouhelná	Tušimice2	728	42	-	-	49,95	16,42	33,58
Hnědouhelná	Ledvice	597	39	-	-	49,95	13,83	36,17
Hnědouhelná	Kladno	480	40	-	-	49,95	14,74	35,26
Hnědouhelná	Mělník3	415	36,9	-	-	49,95	11,78	38,22
Hnědouhelná	Prunéřov1	393	36	-	-	49,94	10,82	39,18
Hnědouhelná	Opatovice	348	35	-	-	49,94	9,7	40,3
Hnědouhelná	Mělník1	275	36	-	-	49,94	10,82	39,18
Hnědouhelná	Mělník2	196	37	-	-	49,95	11,88	38,12
Hnědouhelná	LedviceX2	194	42	-	-	49,95	16,42	33,58
Hnědouhelná	Komořany	192	35	-	-	49,94	9,7	40,3
Černouhelná	Třebovice	174	35	-	-	49,94	9,7	40,3
Ostatní	Poříčí	149	35	-	-	49,94	9,7	40,3

Typ	Název	Instalovaný výkon (MW)	Účinnost elektrárny (%)	Spark spread (€/MW)	Clean Spark spread (€/MW)	Dark spread (€/MW)	Clean Dark spread (€/MW)	Nabízená (Minimální) cena (€/MW)
Hnědouhelná	Tisová1	141	38	-	-	49,95	12,88	37,12
Hnědouhelná	Plzeňská energetika	111	39	-	-	49,95	13,83	36,17
Ostatní	OZE	2400	-	-	-	-	-	0

## Příloha C - Zdrojový kód určení nákladové křivky

```
import pypsa
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

# Načte soubor s daty o elektrizační soustavě
soubor = pd.ExcelFile("Data výroby a spotřeby leden 2020.xlsx")
df_celkove = pd.read_excel(soubor, "1")

# Načte soubor se závěrečnou cenou jednotlivých elektráren
soubor2 = pd.ExcelFile("Ceny.xlsx")
df_ceny = pd.read_excel(soubor2, "List1")

# Merit order
# DataFrame se závěrečnou cenou
df_mincena = pd.DataFrame()
df_mincena["Název"] = df_ceny["Název"]
df_mincena["Cena"] = df_ceny[" Nabízená (Minimální) cena (€/MW)"]

# Nabízená závěrečná cena
marginal_costs = df_mincena.set_index('Název')['Cena'].to_dict()

# Instalovaný výkon (dostupný výkon v uvažovaném období) elektráren v
# uvažované ES
power_plant_p_nom = {"Česká republika" : {"Temelín" : 1028,
                                           "Dukovany" : 1880,
                                           "Prunéřov2" : 1059,
                                           "Počerady" : 916,
                                           "Počerady2" : 847,
                                           "Chvaletice" : 767,
                                           "Dětmárovice" : 748,
                                           "Tušimice2" : 728,
                                           "Ledvice" : 597,
                                           "Kladno" : 480,
                                           "Mělník3" : 415,
                                           "Prunéřov1" : 397,
                                           "Opatovice" : 348,
                                           "Mělník1" : 275,
                                           "Mělník2" : 196,
                                           "LedviceX2" : 194,
                                           "Komořany" : 192,
                                           "Třebovice" : 174,
                                           "Poříčí" : 149,
                                           "Tisovál" : 141,
                                           "Plzeňská energetika" : 111,
                                           "OZE" : 2400,
                                           },
                    },
                    }
```

```
# Výroba OZE
OZE_vyroba = (df_celkove['FVE (MW)'] + df_celkove['VTE (MW)']) /
(2400)
```

```

# Zatížení soustavy (MW)
loads = df_celkove['Spotřeba (MW)']

country = "Česká republika"

network = pypsa.Network()

# Rozsah hodin (720)
network.set_snapshots(range(744))

network.add("Bus",country)

# p_max_pu - OZE zadefinované poměrně ku jeho instalovanému výkonu
for tech in power_plant_p_nom[country]:
    network.add("Generator",
                "{} {}".format(country,tech),
                bus=country,
                p_nom=power_plant_p_nom[country][tech],
                marginal_cost=marginal_costs[tech],
                p_max_pu=( OZE_vyroba if tech == "OZE" else 1),
                )

# Spotřeba v jednotlivých hodinách
network.add("Load",
            "{} load".format(country),
            bus=country,
            p_set=loads)
network.lopf()

# Zátěž v jednotlivých hodinách
df0 = network.loads_t.p
# network.loads_t.p

# Skladba zdrojů - poskytovaný výkon každé elektrárny v jednotlivých
hodinách
df1 = network.generators_t.p
network.generators_t.p

# Závěrečné ceny
df2 = network.buses_t.marginal_price
network.buses_t.marginal_price

# Výsledný dataframe s agregovanými výsledky
df_vysledek = pd.DataFrame()
# df_vysledek['Datum'] = df_celkove['Datum']
df_vysledek['Datum'] = df_celkove.apply(lambda x: '%i. (%i:00)' %
(x['Den'],x['Hodina']),axis=1)
df_vysledek["Jaderné elektrárny (MW)"] = df1["Česká republika
Temelín"]+df1["Česká republika Dukovany"]
df_vysledek["Obnovitelné zdroje energie (MW)"] = df1["Česká republika
OZE"]
df_vysledek["Hnědouhelné elektrárny (MW)"] = df1["Česká republika
Prunéřov2"]+df1["Česká republika Počeradý"]+df1["Česká republika
Chvaletice"]+df1["Česká republika Tušimice2"]+df1["Česká republika
Ledvice"]+df1["Česká republika Kladno"]+df1["Česká republika
Mělník3"]+df1["Česká republika Prunéřov1"]+df1["Česká republika
Opatovice"]+df1["Česká republika Mělník1"]+df1["Česká republika

```

```

Mělník2"]+df1["Česká republika LedviceX2"]+df1["Česká republika
Komořany"]+df1["Česká republika Tisová1"]+df1["Česká republika
Plzeňská energetika"]
df_vysledek["Paroplynové elektrárny (MW)"] = df1["Česká republika
Počerady2"]
df_vysledek["Černouhelné elektrárny (MW)"] = df1["Česká republika
Dětmárovice"]+df1["Česká republika Třebovice"]
df_vysledek["Ostatní elektrárny (MW)"] = df1["Česká republika Poříčí"]
df_vysledek["Spotřeba (MW)"] = df0["Česká republika load"]
df_vysledek["Závěrečná cena (€/MW)"] = df2["Česká republika"]

Datum = df_vysledek['Datum']
Jaderné = df_vysledek["Jaderné elektrárny (MW)"]
OZE = df_vysledek["Obnovitelné zdroje energie (MW)"]
Hnědouhelné = df_vysledek["Hnědouhelné elektrárny (MW)"]
Paroplynové = df_vysledek["Paroplynové elektrárny (MW)"]
Černouhelné = df_vysledek["Černouhelné elektrárny (MW)"]
Ostatní = df_vysledek["Ostatní elektrárny (MW)"]
FVE = df_celkove['FVE (MW)']
VTE = df_celkove['VTE (MW)']
Zaverecnacena = df_vysledek["Závěrečná cena (€/MW)"]

cm = 1/2.54

# Graf podílu výroby EE za celé uvažované období
labels = ["Jaderné", "VTE", "FVE", "Hnědouhelné", "Černouhelné",
"Ostatní", "Paroplynové"]
fig, ax = plt.subplots(figsize = (20*cm,10*cm))
ax.stackplot(Datum, Jaderné, VTE, FVE, Hnědouhelné, Černouhelné,
Ostatní, Paroplynové, colors = ('orange','green', 'yellow',
'brown','black','grey','purple'), labels = labels)
ax.legend(loc='upper left')
ax.set_title('Výroba elektřiny')
plt.xticks(Datum[::30], rotation='vertical')
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.35),
frameon=False, ncol=4)
ax.set_xlabel('Datum (den, hodina)')
ax.set_ylabel('Výkon (MW)')
#plt.savefig('Graf 1.png', bbox_inches="tight")

# Graf závěrečných cen EE za celé uvažované období
fig, ax = plt.subplots(figsize = (20*cm,10*cm))
ax.plot(Datum, Zaverecnacena, color = ('blue'), label = "Závěrečná cena
(€/MW)")
ax.set_title('Hodinové ceny')
plt.xticks(Datum[::24], rotation='vertical')
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.35),
frameon=False, ncol=4)
ax.set_xlabel('Datum (den, hodina)')
ax.set_ylabel('Cena (€/MW)')
plt.grid(True) #vedlejší mřížka
#plt.savefig('Graf 2.png', bbox_inches="tight")

df_vysledek_jeden_den = df_vysledek.iloc[0:24]
Datum24 = df_vysledek_jeden_den['Datum']
Jaderné24 = df_vysledek_jeden_den["Jaderné elektrárny (MW)"]
OZE24 = df_vysledek_jeden_den["Obnovitelné zdroje energie (MW)"]
Hnědouhelné24 = df_vysledek_jeden_den["Hnědouhelné elektrárny (MW)"]

```

```

Paroplynové24 = df_vysledek_jeden_den["Paroplynové elektrárny (MW)"]
Černouhelné24 = df_vysledek_jeden_den["Černouhelné elektrárny (MW)"]
Ostatní24 = df_vysledek_jeden_den["Ostatní elektrárny (MW)"]
FVE24 = df_celkove['FVE (MW)'].iloc[0:24]
VTE24 = df_celkove['VTE (MW)'].iloc[0:24]
Zaverecnacena24 = df_vysledek_jeden_den["Závěrečná cena (€/MW)"]

# Graf podílu výroby EE v intervalu 1 dne
labels = ["Jaderné", "VTE", "FVE", "Hnědouhelné", "Černouhelné",
"Ostatní", "Paroplynové"]
fig, ax = plt.subplots(figsize = (20*cm,10*cm))
ax.stackplot(Datum24, Jaderné24, VTE24, FVE24, Hnědouhelné24,
Černouhelné24, Ostatní24, Paroplynové24, colors=('orange', 'green',
'yellow', 'brown','black','grey','purple'), labels = labels)
ax.legend(loc='upper left')
ax.set_title('Výroba elektřiny')
plt.xticks(Datum24[:,11])
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.15),
frameon=False, ncol=4)
ax.set_xlabel('Datum (den, hodina)')
ax.set_ylabel('Výkon (MW)')
#plt.savefig('Graf 3.png', bbox_inches="tight")

# Graf závěrečných cen EE v intervalu 1 dne
fig, ax = plt.subplots(figsize = (20*cm,10*cm))
ax.plot(Datum24, Zaverecnacena24, color=('blue'), label = "Závěrečná
cena (€/MW)")
ax.set_title('Hodinové ceny')
plt.xticks(Datum24[:,2], rotation='vertical')
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.35),
frameon=False, ncol=4)
ax.set_xlabel('Datum (den, hodina)')
ax.set_ylabel('Cena (€/MW)')
plt.grid(True) #vedlejší mřížka
#plt.savefig('Graf 4.png', bbox_inches="tight")

df_vysledek_5_dnu = df_vysledek.iloc[0:119]
Datum5 = df_vysledek_5_dnu['Datum']
Jaderné5 = df_vysledek_5_dnu["Jaderné elektrárny (MW)"]
OZE5 = df_vysledek_5_dnu["Obnovitelné zdroje energie (MW)"]
Hnědouhelné5 = df_vysledek_5_dnu["Hnědouhelné elektrárny (MW)"]
Paroplynové5 = df_vysledek_5_dnu["Paroplynové elektrárny (MW)"]
Černouhelné5 = df_vysledek_5_dnu["Černouhelné elektrárny (MW)"]
Ostatní5 = df_vysledek_5_dnu["Ostatní elektrárny (MW)"]
Zaverecnacena5 = df_vysledek_5_dnu["Závěrečná cena (€/MW)"]
FVE5 = df_celkove['FVE (MW)'].iloc[0:119]
VTE5 = df_celkove['VTE (MW)'].iloc[0:119]

# Graf podílu výroby EE v intervalu 5 dnů
labels = ["Jaderné", "VTE", "FVE", "Hnědouhelné", "Černouhelné",
"Ostatní", "Paroplynové"]
fig, ax = plt.subplots(figsize = (20*cm,10*cm))
ax.stackplot(Datum5, Jaderné5, VTE5, FVE5, Hnědouhelné5, Černouhelné5,
Ostatní5, Paroplynové5, colors=('orange', 'green', 'yellow',
'brown','black','grey','purple'), labels = labels)
ax.set_title('Výroba elektřiny')
plt.xticks(Datum5[:,12], rotation='vertical')
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.35),

```



```

frameon=False, ncol=4)
ax.set_xlabel('Datum (den, hodina)')
ax.set_ylabel('Výkon (MW)')
# plt.savefig('Graf 5.png', bbox_inches="tight")

# Graf závěrečných cen EE v intervalu 5 dnů
fig, ax = plt.subplots(figsize = (20*cm,10*cm))
ax.plot(Datum5, Zaverecnacena5, color = ('blue'), label = "Závěrečná
cena (€/MW)")
ax.set_title('Hodinové ceny')
plt.xticks(Datum5[:,12], rotation='vertical')
plt.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.35),
frameon=False, ncol=4)
ax.set_xlabel('Datum (den, hodina)')
ax.set_ylabel('Cena (€/MW)')
plt.grid(True) #vedlejší mřížka
# plt.savefig('Graf 6.png', bbox_inches="tight")

# Export agregovaných výsledků do souboru: Výsledná data.xlsx -
uložení provedeno do složky se zdrojovým kódem
df_vysledek.to_excel(r'Výsledná data.xlsx', index = False)

```